

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจ
ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาวะการเก็บรักษา
ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

นางสาวสิริลักษณ์ แสงผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

**THE RELATIONSHIP BETWEEN QUALITY CHANGES
AND RESPIRATION RATE OF FRESH-CUT
VEGETABLE SALAD STORED UNDER
MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGE**

Siriluk Sawaengpon

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Food Technology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2011**

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่ง
พร้อมบริโภคภายใต้สถานการณ์เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.จิรวัดเน่ ยงสวัสดิกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วีระศักดิ์ เลิศศิริ โยธิน)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

สิริลักษณ์ แสงผล : ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจ
ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาวะการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง
บรรยากาศ (THE RELATIONSHIP BETWEEN QUALITY CHANGE AND
RESPIRATION RATE OF FRESH-CUT VEGETABLE SALAD STORED UNDER
MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.วีระศักดิ์ เลิศศิริ โยธิน, 91 หน้า.

กรีนโอ๊ค (Green oak) และ บัตเตอร์เฮด (Butter head) เป็นผักที่มีการนำมาแปรรูปให้เป็น
ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค และเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา
โดยทั่วไปการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสามารถคำนวณได้จากการใช้สมการทำนาย
อัตราการหายใจของผัก เพื่อกำหนดอัตราส่วนคงตัวของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่
เหมาะสมต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์แต่การระบุอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยการตรวจวัด
คุณภาพของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย และปัจจุบันยังไม่มี การเชื่อมโยงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ
เปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจในเชิงคำนวณที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศของผักสลัด ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพ ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงสี กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ปริมาณ
สารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล อัตราการสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการหายใจ เพื่อหา
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัด
แต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนผสม
ระหว่างแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันสี่สภาวะคือร้อยละ
1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ผลงานวิจัย พบว่า สภาวะการปรับแต่งบรรยากาศและ
ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสี และกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิ
เดสในบัตเตอร์เฮดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าสภาวะการปรับแต่งบรรยากาศมี
ผลทำให้ค่าดังกล่าวในกรีนโอ๊คไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่สภาวะการ
ปรับแต่งบรรยากาศและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้อัตราการสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการ
หายใจของผักทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการประเมินลักษณะที่
ปรากฏของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด พบว่า สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 สามารถเก็บรักษากรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดได้เป็น
ระยะเวลา 8 และ 16 วัน ตามลำดับ ซึ่งสภาวะดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวัดอัตราการหายใจน้อย
สุด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี และอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับ

อัตราการหายใจ จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้พัฒนาเป็นความสัมพันธ์เชิงคำนวณ เพื่อใช้ทำนายอายุ
การเก็บรักษาผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศได้



SIRILUK SAWAENG PON : THE RELATIONSHIP BETWEEN QUALITY
CHANGES AND RESPIRATION RATE OF FRESH-CUT VEGETABLE
SALAD STORED UNDER MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGE.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WEERASAK LERTSIRIYOTHIN,
Ph.D., 91 PP.

FRESH-CUT VEGETABLE/MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGE

Green oak and butter head were processed to fresh-cut products and stored under modified atmosphere packages (MAP) to extend the shelf-life. In general, the design of MAP to maintain an optimum ratio of carbon dioxide and oxygen concentration can be modeled from the respiration rate of each vegetable. Nevertheless, the prediction of product shelf-life has to be computed from the rate of quality changes. At present, no mathematical relationships between the rate of quality changes and the respiration rate suited for shelf-life predictive modeling has been studied. Therefore, the aim of this research was to investigate the relationship among the quality changes such as discoloration, polyphenol oxidase (PPO) activity, ethanol extractable phenolic compounds, weight loss and the respiration rate of the fresh-cut green oak and butter head. The modified atmosphere packages were initially filled with four ratios of O₂ to CO₂ concentrations of 1:5, 5:5, 10:5 and 21:0 percent by volume and stored at 5°C. Results showed that the MAP conditions and storage time significantly influenced the discoloration, polyphenol oxidase activity and ethanol extractable phenolic compounds of butter head, but not green oak. The MAP conditions and storage time also had high significant effect the product weight loss

and respiration rate for both fresh-cut products. The best MAP condition to prolong the product shelf life was of 1:5 O₂ to CO₂ and the best product shelf life determined based on their appearance was at 8 days for green oak and 16 days for butter head. This MAP condition corresponded to the lowest respiration rates of each fresh-cut product. In conclusion, the relationships between the product respiration rate and quality changes in term of the product discoloration and weight loss were suitable for constructing the shelf-life prediction model to be used in the design of modified atmosphere package for fresh-cut products.



School of Food Technology

Academic Year 2011

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และภาคีสถนัย นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุน และอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ขอกราบ ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัดน์ ขงสวัสดิกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ศูนย์เครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือ 5 และฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดการดำเนินการวิจัย

ขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมเรียนระดับบัณฑิตศึกษา และผู้ช่วยวิจัยสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารที่ ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และ ส่งเสริมการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา อัน เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

สิริลักษณ์ แสงผล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค.....	5
2.2 คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค	6
2.3 อัตราการหายใจและปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค	11
2.4 บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	15
3 วัสดุและวิธีการ.....	21
3.1 วัตถุดิบ.....	21
3.2 การเตรียมตัวอย่างผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคและบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	การวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้ สภาวะการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	22
3.3.1	การวัดค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	22
3.3.2	การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค ภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	23
3.3.3	การวัดสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค ภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	23
3.3.4	การวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้ การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ	24
3.4	การวัดอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษา ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	24
3.5	การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	25
3.6	การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของ ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง บรรยากาศ.....	25
3.7	สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล	25
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	26
4.1	ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค	26
4.1.1	ผลการวัดค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษา ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	26
4.1.2	การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค ภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	33
4.1.3	ผลการวัดสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลของผักสลัด ตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ ปรับแต่งบรรยากาศ	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	38
4.2 ผลการวัดอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	40
4.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์.....	47
4.3.1 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	47
4.3.2 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	52
4.3.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	55
4.3.4 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ.....	58
5 บทสรุป.....	62
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม 100 กรัม.....6
2.2	ลักษณะสำคัญของวิธีการวัดอัตราการหายใจผักและผลไม้.....15
2.3	อัตราสัดส่วนของบรรยากาศใน MAP และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผัก และผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ได้มีการศึกษาแล้ว.....19



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กรีน โอ๊ค (Green oak)	4
2.1 บัตเตอร์เฮด (Butter head)	5
2.3 ภาพจำลองภายใน และภายนอกของสารประกอบฟีนอล และการออกซิไดซ์ ด้วยเอนไซม์ PPO และ POD ในเซลล์พืช.....	8
2.4 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO.....	9
2.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล.....	9
2.6 การเสื่อมสลายของ Chlorophylls รูปแบบต่าง ๆ.....	10
4.1 ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	28
4.2 ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุ ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	29
4.3 ผลการวัดค่า Hue angle ของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	29
4.4 ผลการวัดค่า Hue angle ของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	30
4.5 ลักษณะปรากฏของกรีน โอ๊คที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง บรรยากาศเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C.....	31
4.6 ลักษณะที่ปรากฏของบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง บรรยากาศเป็นระยะเวลา 16 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C.....	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคร บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	34
4.8 ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคร บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	34
4.9 ลักษณะปรากฏของกรีนโอ๊คที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เป็นระยะเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C	35
4.10 ผลการวัดสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคร บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	37
4.11 ผลการวัดสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคร บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	37
4.12 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครบรรจุ ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	39
4.13 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคร บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	40
4.14 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของ กรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	43
4.15 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของกรีนโอ๊คตัดแต่ง พร้อมบริโภครบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของ แบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	44
4.17 ผลการวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของ แบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	44
4.18 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตรคาร์บอนไดออกไซด์) ของกรีนโอ๊ค ตัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	45
4.19 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของกรีนโอ๊คตัดแต่ง พร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	45
4.20 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตรคาร์บอนไดออกไซด์) ของแบตเตอรี่เสด ตัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C เป็น ระยะเวลา 20 วัน.....	46
4.21 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของแบตเตอรี่เสดัดแต่ง พร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	46
4.22 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตรคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	48
4.23 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน.....	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของแบตเตอรี่เฮดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	49
4.25 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของแบตเตอรี่เฮดตัดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	50
4.26 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง บรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	50
4.27 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	51
4.28 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่า Hue angle ของแบตเตอรี่เฮดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	51
4.29 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่า Hue angle ของแบตเตอรี่เฮดตัดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง บรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	52
4.30 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกบรจุด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	54
4.32 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	54
4.33 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	55
4.34 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	56
4.35 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับ สารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครอง ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	57
4.36 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครอง ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	57
4.37 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับ สารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครอง ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครวมด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	59
4.39 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับอัตรา การสูญเสียน้ำหนักของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครวมด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	60
4.40 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครวมด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	60
4.41 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับอัตรา การสูญเสียน้ำหนักของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครวมด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°C	=	Degree Celsius
×g	=	Gravitational acceleration
g	=	Gram
h	=	Hour
mg	=	Milligram
ml	=	Milliliter
kPa	=	Kilopascal
v/v	=	Volume : volume
w/v	=	Weight : volume
×g	=	Gravitational acceleration
μg	=	Microgram
μm	=	Micrometer
%	=	Percent
Δ	=	Delta
H°	=	Hue angle
PPO	=	Polyphenol oxidase
POD	=	Peroxidase
PAL	=	Phenylalanine ammonialyase
O ₂	=	Oxygen
CO ₂	=	Carbondioxide
N ₂	=	Nitrogen
MAP	=	Modified Atmosphere Packaging
EMA	=	Equilibrium Modified Atmosphere
PE	=	Polyethylene
LLDPE	=	Linear low density polyethylene
PVC	=	Polyvinyl chloride

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PLO	=	Polyolefin
ATP	=	Adenosine triphosphate
NAD ⁺	=	Nicotinamide adenine dinucleotide



บทที่ 1

บทนำ

ผักสลัดหรือผักกาดหอม (Lettuce) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lactuca sativa* ถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรป และเอเชีย นิยมบริโภคส่วนของใบ ผักสลัดแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ผักกาดหอมหัว หัวคล้ายกะหล่ำปลี (Head Lettuce) ผักกาดหอมชนิดธรรมดาไม่ห่อหัว (Leaf Lettuce) และ ผักกาดหอมที่มีลำต้นยาว (Stem Lettuce) การบริโภคผักสลัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น และด้วยวิถีการใช้ชีวิตที่เร่งรีบ จึงได้มีการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยการจำหน่ายผักสลัดในรูปแบบของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค (Fresh-cut produce) ผักตัดแต่งพร้อมบริโภค หมายถึง ผักที่มีการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยวผักอย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการแปรรูปผัก ได้แก่ คัดเลือก ตัดแต่ง ล้างทำความสะอาด และการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ผักอยู่ในรูปแบบที่สามารถบริโภคได้ทันที

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักสลัดพร้อมบริโภคมีคุณภาพการลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น โดยทั่วไปผักตัดแต่งพร้อมบริโภคจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 ถึง 7 วัน (Vhvenainen, 1996) ผลิตภัณฑ์ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่กำลังได้รับความนิยมทั้งใน และต่างประเทศ คือ ผักสลัดรวมตัดแต่งพร้อมบริโภค ซึ่งประกอบด้วย กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค แครอท สลัดแก้ว และกะหล่ำม่วง แต่อย่างไรก็ตามผู้ผลิตมักประสบปัญหาด้านผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ซึ่งผักกาดหอมเป็นผักที่พบปัญหาามากที่สุดในผักสลัดรวม เนื่องจากผักกาดหอมจะเกิดสีน้ำตาลบริเวณก้าน และขอบใบที่มีการตัดแต่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (Lopez-Galvez, Saltveit and Marita, 1996) ทั้งนี้การตัดแต่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล เมื่อมีเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้น การตัดแต่งเป็นการทำให้เกิดบาดแผล จึงทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น และทำให้ผักมีการหายใจสูงขึ้น และเป็นการเร่งให้เกิดเป็นจุดสีน้ำตาลบริเวณก้านใบมากขึ้น (Peiser, López-Gálvez, Cantwell and Saltveit, 1998; Saltveit, 2004) เอนไซม์ PPO ถูกรายงานว่าเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบฟีนอลในผักกาดหอม ซึ่งนำไปสู่การเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา (Lopez-Galvez et al., 1996; Degl'Innocenti, Pardossi, Tognoni and Guidi, 2007) ดังนั้นจึงได้มีการนำบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศหรือ

เรียกว่า Modified Atmosphere Packaging (MAP) มาใช้ในการผลิตผักสดพร้อมบริโภคเพื่อจำหน่าย และกำลังได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย

MAP คือ การเก็บรักษาความสดของผัก โดยการชะลออัตราการหายใจของผักสดด้วยความสมดุลของแก๊สออกซิเจน (Oxygen; O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide; CO_2) ที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุควบคุมไปกับการเก็บผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดนั้น ๆ การใช้ MAP ในการยืดอายุการเก็บรักษา และสามารถคงคุณภาพของผักให้ได้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแก๊สภายในภาชนะบรรจุเป็นหลัก สัดส่วนที่เหมาะสมจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ให้ยาวนาน ปัจจุบันการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสามารถออกแบบได้จากการใช้สมการทำนายอัตราการหายใจของผัก เพื่อประมาณอัตราส่วนของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่การระบุอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ต้องอาศัยการตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย ซึ่งการตรวจวัดคุณภาพต้องใช้งบประมาณสูง และระยะเวลาในการทดลองที่ยาวนาน และปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจในเชิงคำนวณที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของผักสด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่มีการศึกษา พบว่าเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสดและอัตราการหายใจของผักสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศภายใต้สภาวะต่าง ๆ

1.2.2 เพื่อวัดอัตราการหายใจของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศภายใต้สภาวะเดียวกันกับที่ใช้ศึกษาข้อ 1.2.1

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงแนวทางการคัดเลือกปัจจัยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่เหมาะสมต่อการใช้สร้างหาความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจของผักสดสำหรับทำนายอายุการเก็บรักษา

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสดที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศภายใต้สภาวะต่าง ๆ จากสภาวะปกติไปจนถึงสภาวะผิดปกติมีความสัมพันธ์เชิงคำนวณกับอัตราการหายใจของผักสดอย่างมีนัยสำคัญ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ การออกแบบการทดลองใช้ผักกึ๋นไฉ้ และบัตเตอร์เฮดเป็นตัวอย่างทดลอง โดยทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคซึ่งเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่มีอัตราส่วนผสมแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันสี่สถานะคือ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวที่ 5°C การศึกษามุ่งเน้นที่การศึกษาถึงอิทธิพลของอายุการเก็บรักษาและสถานะการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพและอัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และชีวภาพ กำหนดขอบเขตเป็น การวัดการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ค่าสี และอัตราการสูญเสียน้ำหนัก เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ชัดเจนกับอัตราการหายใจ แบบทดลองจึงกำหนดให้ติดตามคุณภาพดังกล่าวของผักสลัดตัดแต่งจากสภาพปกติจนกระทั่งเกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพอย่างเด่นชัด ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกปัจจัยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่เหมาะสมต่อการใช้สร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพต่ออัตราการหายใจของผักสลัดเพื่อการทำนายอายุการเก็บรักษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้สัดส่วนของแก๊สที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักสลัดสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 1.5.2 ได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีที่ระบุอายุการเก็บรักษาของผักสลัดสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 1.5.3 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัด ซึ่งนำไปสู่ผลสรุปที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสลัด

บทที่ 2

ปฐกษัตริยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผักสลัดหรือผักกาดหอม (Lettuce) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Lactuca sativa* ถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรป และเอเชีย นิยมบริโภคส่วนของใบ ผักสลัดแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ผักกาดหอมห่อ หัวคล้ายกะหล่ำปลี (Head Lettuce) ผักกาดหอมชนิดธรรมดาไม่ห่อหัว (Leaf Lettuce) และ ผักกาดหอมที่มีลำต้นยาว (Stem Lettuce) กลุ่มที่นิยมปลูกในประเทศไทยคือ ผักกาดหอมห่อหัว และผักกาดหอมใบ และสายพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกกันมากมี 6 สายพันธุ์ ได้แก่ กรีน โอ๊ค (Green oak) เรด โอ๊ค (Red oak) เรด ลีฟ (Red leaf) บัตเตอร์เฮด (Butter head) คอส (Cos) และ สลัด แก้ว (Iceberg)

กรีนโอ๊ค ลักษณะเด่น คือ รูปทรงเป็นพุ่ม และใบหยาบมีสีเขียวอ่อน กรีนโอ๊คเป็นผักที่มีรสชาติหวานกรอบ คล้ายผักกาดหอม เหมาะที่จะรับประทานสด (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 กรีนโอ๊ค (Green oak)

ที่มา: ร้านอาหารมายโฮม (www, 2554)

บัตเตอร์เฮด ลักษณะเด่น คือ รูปทรงสวยงามคล้ายพุ่มกุหลาบ ใบมนอัดแน่นเป็นใจผัก ทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ดี รสชาติหวานกรอบไม่ขม สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น นำมาทำสลัด ผัดน้ำมันหอย ผัดผักรวมมิตร แกงจืด เมี่ยงคำ เป็นต้น (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 บัตเตอร์เฮด (Butter head)
ที่มา: ร้านอาหารมายโฮม (www, 2554)

สรรพคุณทางยาของผักกาดหอม ในผักกาดหอมมีสารแอนติออกซิแดนท์ หลายชนิด ช่วยในการป้องกัน และต่อต้านมะเร็งได้ ผักกาดหอมเป็นแหล่งรวมคลอโรฟิลล์ และวิตามินเค ผักกาดหอมเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก เพราะมีแคลอรีต่ำ ผักกาดหอมเป็นแหล่งของธาตุเหล็ก ช่วยบำรุงโลหิต บำรุงสมอง และระบบประสาท หากทานผักกาดหอมร่วมกับแครอท และผักขมจะช่วยบำรุงสีของเส้นผมให้สวยงาม (บริษัท ทรพย์อन्नันต์ เยนเนอรัลฟู้ด จำกัด, www, 2554)

2.1 ผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค

ผักตัดแต่งพร้อมบริโภค (Fresh-cut produce) หมายถึง ผักที่มีการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว เช่น คัดเลือก ล้างทำความสะอาด ตัดแต่ง และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ผักอยู่ในรูปแบบที่สามารถบริโภคได้ทันที โดยผักนั้นยังคงความสดอยู่ การแปรรูปผักพร้อมบริโภคนั้นเกิดขึ้นมานาน

แล้ว แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยม และพัฒนาไปกันมาก เพื่อตอบสนองความต้องการของสังคมซึ่งมีการใช้ชีวิตค่อนข้างเร่งรีบ ต้องการความสะดวกสบายในทุก ๆ ด้าน และการผลิตผักพร้อมบริโภค นั้นมีเป้าหมาย 2 ประการ ประการแรก คือ ต้องการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในลักษณะที่สด แต่อาจเกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ประการที่สองผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะต้องมีอายุการเก็บรักษาที่เพียงพอ และเหมาะสมตั้งแต่การขนส่งจนกระทั่งถึงผู้บริโภค (Alzamora, Lopez-Malo and Tapia, 2000)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม 100 กรัม

พลังงาน และสารอาหาร	ปริมาณที่พบ
พลังงาน	24.00 กิโลแคลอรี
โปรตีน	2 กรัม
ไขมัน	0.4 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	3 กรัม
แคลเซียม	16 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	39 มิลลิกรัม
เหล็ก	4.9 มิลลิกรัม
เบต้าแคโรทีน	173.17 ไมโครกรัม
เส้นใย	1.80 กรัม
วิตามินบี 1	0.06 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.18 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	0.6 มิลลิกรัม
วิตามินซี	9.00 มิลลิกรัม

ที่มา: บริษัท ทรูฟู้ดส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (www, 2554)

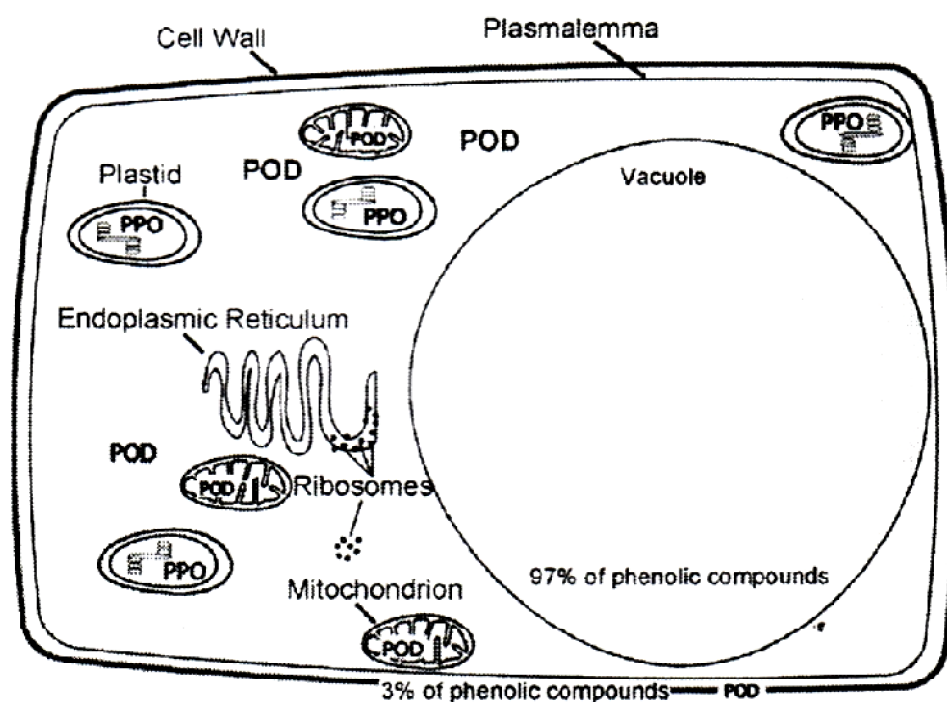
2.2 คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค

คุณภาพของผัก แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ คือ ลักษณะภายใน และลักษณะภายนอก ลักษณะภายนอก (External characteristic หรือ appearance) ได้แก่ ลักษณะต่าง ๆ ที่มองเห็นด้วยตา สัมผัสได้ด้วยมือ ประกอบด้วย รูปร่าง ขนาด สี สัน ความมันเงา และลักษณะอื่น ๆ ส่วนลักษณะภายใน ได้แก่ ลักษณะที่สัมผัสได้จากการบริโภคด้วยปาก ลิ้น และจมูก ได้แก่ รสชาติ (Test) เนื้อ

สัมผัส (Texture) รวมทั้งคุณค่าทางอาหาร ส่วนผักตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้นเป็นลักษณะการแปรรูปที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง (จริงแท้, 2549) และคุณภาพลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น โดยทั่วไปผักตัดแต่งพร้อมบริโภคจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 ถึง 7 วัน (Vhvenainen, 1996) การตัดแต่งผักเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสดพร้อมบริโภคลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการเก็บรักษา (Tavarini, Degl'Innocenti, Pardossi, and Guidi, 2007) การแปรรูปผัก เช่น ล้าง หั่น มีผลให้เนื้อเยื่อผักฉีกขาด ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะมีผลกระทบไปถึงเซลล์พืชที่อยู่ถัดไปจากรอยฉีกขาด การล้างผักหลังจากหั่นแล้วจะจัดของเหลวที่ออกมาจากเซลล์ และชะลอการทำงานของเอนไซม์ได้ แต่ไม่สามารถใช้ได้กับผักทุกชนิด เช่น ผักกาดหอม การล้างไม่ช่วยให้เก็บได้นานขึ้น แต่จะทำให้เน่าเสียได้เร็วขึ้น แต่การล้างผักกาดจะช่วยลดปฏิกิริยาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ได้ ซึ่งต้องทำให้แห้งโดยเร็วโดยการปั่นด้วยมือหรือใช้เครื่องสลัดน้ำ (Salad spinner)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักนั้นมีสาเหตุหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และกายภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่แสดงให้เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ การเหี่ยวของผัก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผัก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการคายน้ำ โดยการคายน้ำจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะเดียวกันความชื้นภายในผักมีมากกว่าความชื้นภายนอก น้ำภายในจึงมีศักย์ภาพที่จะสูญเสียออกจากผักอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้จะมีเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อป้องกันการระเหยน้ำ ได้แก่ ชั้นของ Epidermis รวมทั้งไข (Wax) และ Cutin ที่เคลือบอยู่ แต่ผักจำเป็นต้องมีช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ปากใบ และ Lenticel เพื่อถ่ายเทเอาแก๊สออกซิเจน เข้าไปสำหรับการหายใจ และระบายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการคายน้ำของผัก คือ ความชื้นในบรรยากาศ และอุณหภูมิ นอกจากนี้เนื้อสัมผัสของผักขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางพันธุกรรมที่มีผลต่อโมเลกุล และเซลล์ของผัก น้ำ และองค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งเงื่อนไขในการเพาะปลูก สภาพแวดล้อมในระหว่างเพาะปลูก การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว สำหรับกระบวนการแปรรูปผักตัดแต่งพร้อมบริโภค นั้น ขั้นตอนของการตัดแต่งเป็นขั้นตอนที่เพิ่มบาดแผลให้กับผัก ซึ่งบาดแผลที่เกิดขึ้นจะเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่น้ำจะผ่านได้ง่าย และสะดวกกว่าช่องทางอื่น ๆ เพราะสิ่งกีดขวางการเข้าออกของน้ำถูกทำลาย บาดแผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดแต่งระหว่างการแปรรูปนั้นนอกจากเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำแล้วยังส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นบริเวณที่มีตัดแต่ง (ดังรูปที่ 2.3) สีน้ำตาลเกิดขึ้นในผักนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทำงานของเอนไซม์ เมื่อผักเกิดบาดแผลสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) มีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนโดยตรง และออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้เป็นควิโนน (Quinone) โดยการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จากนั้นจึงรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็นสารสีน้ำตาล (ดังรูปที่ 2.4) Degl'Innocenti et al. (2007) ได้ศึกษากิจกรรม

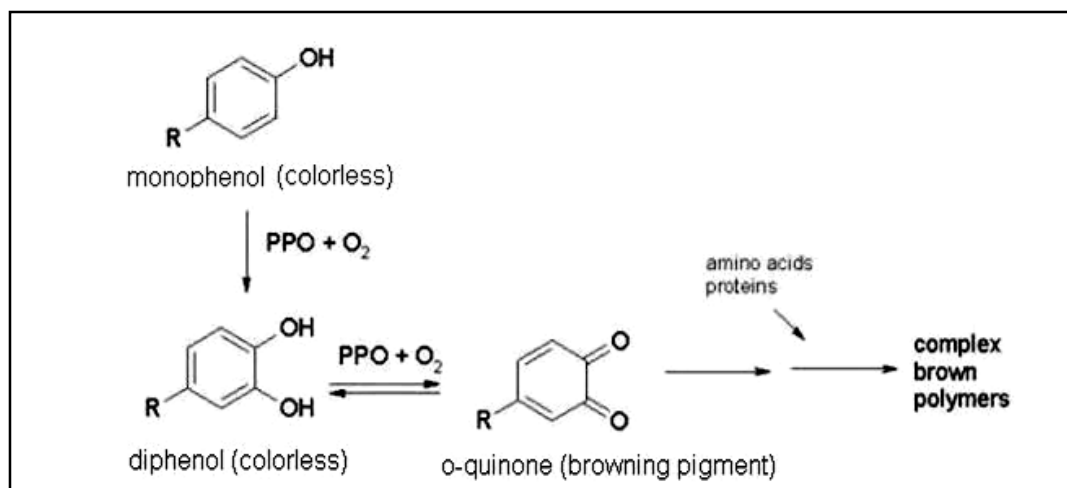
ของเอนไซม์ PPO ในผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโกล พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นสูงสุดหลังการเก็บรักษาในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 °C นอกจากนี้ การเกิดบาดแผลยังกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (ดังรูปที่ 2.5) เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองภายในและภายนอกของสารประกอบฟีนอล และการออกซิไดซ์ด้วย
เอนไซม์ PPO และ POD ในเซลล์พืช
ที่มา: Toivonen and Brummell (2008)

สารประกอบฟีนอล ได้แก่ สารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และอาจมี
หมู่เคมีอื่น ๆ มาเกาะที่ตำแหน่งต่าง ๆ เช่น กรดซินนามิก (Cinnamic acid) กรดคาเฟอิก (Caffeic
acid) กรดโคลโรจินิก (Chlorogenic acid) แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) และแทนนิน (Tannin)
นอกจากนั้นไทโรซีน (Tyrosine) และฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ก็นับว่าเป็นสารประกอบ
ฟีนอลเหมือนกัน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์จากชิกิมิกพาทเวย์ (Shikimic pathway) เช่นเดียวกับ
สารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ซึ่งได้จากการรวมตัวกันของฟอสโฟอินอลไพรูเวต (Phosphophenol
pyruvate) จากไกลโคไลซิส (Glycolysis) และอีรีโทสเตระฟอสเฟส (Erythrose-4-phosphste) หรือ
แคลวินไซเคิล (Calvin cycle) หรือเพนโทสฟอสเฟสพาทเวย์ (Pentose phosphate pathway) แต่
มักจะจัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน ซึ่งเป็นโมเลกุลต้นแบบ (Precursor) ของ

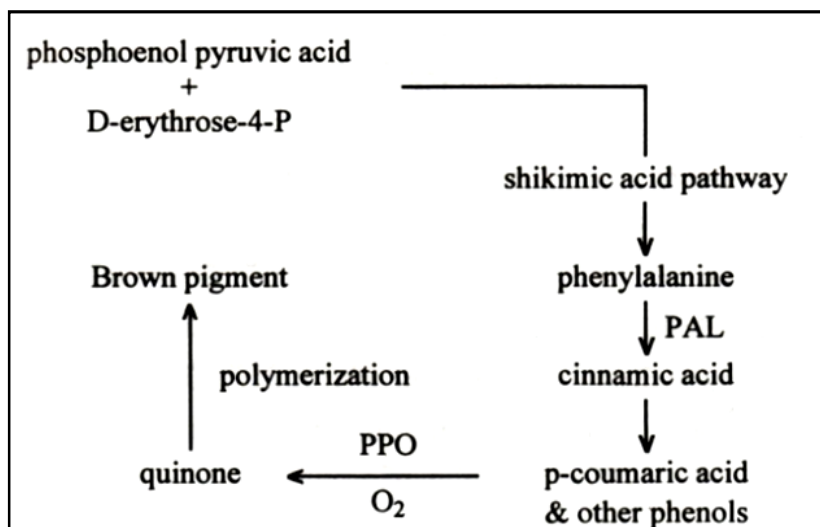
สารประกอบฟีนอลอื่น ๆ โดยการทำงานของฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine ammonialyase; PAL) ดังเอาหมู่อะมิโนออกจากฟีนิลอะลานีน ได้เป็นกรดชินนามิก (จริงแท้, 2549)



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO

ที่มา: Bramen, Michael, Seppo and John (1996)

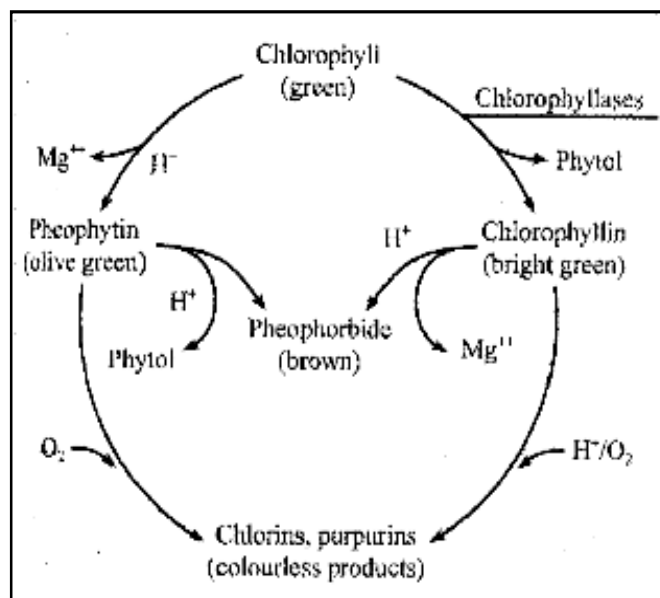
ดังนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเพื่อกำหนดอายุการเก็บรักษาได้ จากการศึกษาการทำงานของเอนไซม์ PAL ในเนื้อเยื่อของผักกาดหอม พบว่า การทำงานของเอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับการเกิดจุดสีน้ำตาลและพัฒนาเป็นสีน้ำตาลขึ้น และการทำงานของเอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับการลดลงของอายุการเก็บรักษาและคุณภาพโดยรวมที่มองเห็นได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL จะเกิดขึ้นก่อนการเกิดสีน้ำตาลในของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค (Pereyra, Roura, Valle, 2005; Lopez-Galvez et al., 1996) และพบว่าในผักกาดหอมกิจกรรมของ PAL จะเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากการตัดแต่ง 1 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นสูงสุดในเวลา 6 ชั่วโมง (Degl'Innocenti, Guidi, Pardossi and Tognoni, 2005)



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล

ที่มา: จรุงแท้ (2549)

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี คุณค่าทางโภชนาการ อัตราการหายใจ เป็นต้น ซึ่งสีของผักเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคเลือกซื้อ สีของผักเกิดจากสารให้สีที่มีอยู่ในเซลล์โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ พวกที่ละลายน้ำ พบในแวคิวโอล ได้แก่ สารแอนโทไซยานินต่าง ๆ และพวกที่ละลายในไขมันพบใน Plastid มีหลายชนิด เช่น สารสีเขียวคลอโรฟิลล์เอ และบี สารสีเหลืองแคโรทีน และสารสีแดงไลโคปีน สารสีเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสียังมีผลโดยตรงต่อความรู้สึกด้านรสชาติด้วย เช่น ผักมีสีเขียวน่ารับประทานกว่าผักที่สีของผักจางลง โดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ในผักจะบ่งบอกถึงความชราภาพ (Senescence) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้น และสลายตัวอยู่ตลอดเวลาในผักมีชีวิต กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดทั้งหมดอาจเกิดขึ้นตามกระบวนการที่แสดงไว้ดังรูปที่ 2 คือ ประการแรกสภาพความเป็นกรด ทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากส่วนหัวของโมเลกุล ได้สาร Pheophytin ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่ ประการที่สองการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase โดยเอนไซม์ Chlorophyllase จะแยกส่วนหัว และหางของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ออกจากกันแต่ก็ยังคงมีสีเขียวอยู่แต่สีเขียวจะหมดไปก็ต่อเมื่อ ประการที่สามโมเลกุลของวงแหวน Porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน (Wills, Lee, Graham, McGlasson, and Hall, 1981) ดังนั้นการเก็บรักษาผักภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้



รูปที่ 2.6 การเสื่อมสลายของ chlorophylls รูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: Wills et al. (1981)

2.3 อัตราการหายใจและปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผักตัดแต่งพร้อมบริโภค

การแปรรูปผักควรทำทันทีเมื่อตัดหรือเก็บจากต้น เนื่องจากผักชนิดต่าง ๆ ใช้ส่วนใบ ยอด และดอกมักเป็นส่วนที่กำลังเจริญเติบโต ซึ่งมีอัตราการหายใจ การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงสูง มีโครงสร้างที่บอบบาง ช้ำและเสียหายง่าย การเก็บเกี่ยวต้องทำด้วยความรวดเร็ว และระมัดระวัง เพื่อลดอัตราการชราภาพ และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ การที่เซลล์ของผักถูกทำลายระหว่างการตัดออกจากต้นนั้น ส่งผลให้เกิดการเร่งการหายใจของผัก ปกติผักนั้นแล้วจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 จากผักที่ยังไม่ได้หั่น แต่ถ้ามีดที่ใช้ปอกหรือหั่นไม่คมจะมีผลให้ผิวผักไม่สม่ำเสมอ อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เช่น ผักกาดแก้ว (Iceberg lettuce) ที่หั่นเป็นชิ้นแล้วมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 ถึง 40 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลให้อัตราการหายใจของผัก เช่น พันธุกรรม พันธุกรรมที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้ผักชนิดนั้น ๆ มีอัตราการหายใจที่ต่างกัน และปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการหายใจอย่างมาก คือ อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ และความเครียดทางกาย ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญต่อการเก็บรักษาผักเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมให้เหมาะสมกับผลิตผลได้ การหายใจของผักสดนอกจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นแล้วยังมีไอน้ำและความร้อนเกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปอัตราการหายใจของพืชเพิ่มขึ้นประมาณสองถึงสามเท่าเมื่อเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก ๆ 10°C (จริงแท้, 2549) และสภาวะที่ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 10 ผักส่วนใหญ่จะมีอัตราการหายใจลดลง ดังนั้น

การควบคุมสมดุลมวลของแก๊สเพื่อชะลออัตราการหายใจ จึงเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเภท MAP โดยหลักการของการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเภท MAP คือ สมการที่ใช้คำนวณอัตราการหายใจของผัก ผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่างการเก็บรักษา และ วัสดุที่นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ปัจจุบันได้มีการวิจัย และพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายอัตราการหายใจของผัก และผลไม้ทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 เป็นการสร้างสมการอย่างง่ายโดยกำหนดให้อัตราการหายใจเป็นฟังก์ชันขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของแก๊ส เช่น ฟังก์ชันเชิงเส้น โพลีโนเมียล และเอ็กซ์โปเนนเชียล (Jacxsens, Devlieghere, and Debevere, 1999) แบบที่ 2 เป็นการสร้างสมการอย่างง่ายโดยกำหนดให้อัตราการหายใจเป็นฟังก์ชันขึ้นกับความเข้มข้นของแก๊ส และอุณหภูมิ เช่น สมการเชิงเส้น โพลีโนเมียล และเอ็กซ์โปเนนเชียล (Beaudry, Cameron, Shirazi, and Dostal-Lange, 1992; Cameron, Boylan-Pett and Lee, 1989; Gong and Corey, 1994; Smyth, Song and Cameron, 1998) แบบที่ 3 เป็นการสร้างสมการโดยอาศัยหลักการกำหนดให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการหายใจเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องหรือที่รู้จักกัน Michaelis-Menten ดังสมการที่ 1 และ 2 (Lee, Hagggar, Lee and Yam, 1991; Peppelenbos and Leven, 1996; Lakakul, Beaudry, and Hernandez, 1999; Fonseca Oliveira and Brecht, 2002) และแบบที่ 4 เป็นการสร้างสมการอัตราการหายใจ โดยอาศัยทฤษฎี อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับแก๊ส ดังสมการที่ 3 และ 4 (Makino, Iwasaki and Hirata, 1996)

$$R_{O_2} = \frac{V_{m1}[O_2]_i}{K_{m1} + [O_2]_i + \{[O_2]_i[CO_2]_i\} / K_{i1}} \quad (1)$$

$$R_{CO_2} = \frac{V_{m2}[O_2]_i}{K_{m2} + [O_2]_i + \{[O_2]_i[CO_2]_i\} / K_{i2}} \quad (2)$$

โดยที่	V_{m1}	=	สัมประสิทธิ์ของแก๊สออกซิเจนสำหรับอัตราการใช้ออกซิเจน
	K_{m1}	=	ร้อยละออกซิเจนสำหรับอัตราการใช้ออกซิเจน
	K_{i2}	=	ร้อยละคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับอัตราการใช้ออกซิเจน
	V_{m2}	=	สัมประสิทธิ์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับอัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์
	K_{m1}	=	ร้อยละออกซิเจนสำหรับอัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์
	K_{i2}	=	ร้อยละคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับอัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

ค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวที่กล่าวถึง เป็นค่าเฉพาะขึ้นกับชนิดของพืช ซึ่งจำเป็นต้องได้มาจากการวัดอัตราการหายใจจริงของพืชชนิดนั้น ณ อุณหภูมิคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง

$$R_{O_2} = \frac{abp_{O_2}}{1 + ap_{O_2} + aip_{O_2}p_{CO_2}} \quad (3)$$

$$R_{CO_2} = RQ \times R_{O_2} \quad (4)$$

โดยที่ a, i = ตัวแปรของอัตราในหน่วยความดัน [kPa^{-1}]

b = อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยมวล [$mol.kg^{-1} s^{-1}$]

p_{O_2} = ความดันย่อยของออกซิเจนที่มีอยู่โดยรอบพืช [kPa]

p_{CO_2} = ความดันย่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่โดยรอบพืช [kPa]

ค่าตัวแปร a b และ i เป็นค่าคงที่เฉพาะขึ้นกับชนิดของพืช ซึ่งจำเป็นต้องได้มาจากการวัดอัตราการหายใจจริงพืชชนิดนั้น

กระบวนการหายใจจะใช้น้ำตาล และกรดไขมันที่อยู่ภายในเซลล์เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยสามารถวัดอัตราการหายใจได้จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ (Uchino, Nei, Hu and Sorour, 2004) $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 673 \text{ kcal (38 ATP)}$ การวัดอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคสามารถแสดงถึงอัตราการใช้ ออกซิเจนหรืออัตราการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปมีวิธีที่ใช้ในการวัด 3 วิธี ได้แก่

1. การวัดอัตราการหายใจอยู่ในระบบปิด (Closed หรือ Static system) โดยเราจะใส่ตัวอย่างในภาชนะที่ปิดสนิทและวัดความเข้มข้นของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะบรรยากาศที่จุดเริ่มต้น และสุดท้ายของช่วงคาบเวลาที่เฉพาะ

2. ทำการวัดอัตราการหายใจโดยใช้ระบบการไหลผ่านของอากาศ (Flowing หรือ Flushed system) โดยใส่ตัวอย่างในภาชนะปิดสนิท และเติมอากาศให้ไหลผ่าน โดยจะต้องทราบค่าอัตราการไหลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ และปล่อยช่วงเวลาให้เข้าสู่สมดุลหลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเป็นระยะ ๆ และวัดความเข้มข้นของแก๊สที่ไหลผ่านทางเข้า ออกด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography; GC), Infrared spectroscopy, Paramagnetic, Polarographic หรือ Electrochemical oxygen analyzers (สำหรับการวัดแก๊สออกซิเจน) ทำการวัดความเข้มข้นที่แตกต่างของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างการไหลเข้า และออก การคำนวณอัตราการหายใจจะใช้น้ำหนัก อัตราการไหล และความเข้มข้นของออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์

3. ทำการวัดอัตราการหายใจโดยระบบการแทรกซึมผ่านของอากาศ (Permeable system) โดยจะใส่ตัวอย่างลงไปภาชนะ และทำการวัดอัตราการหายใจ โดยต้องทราบอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่อภาชนะที่ใช้ในการทดสอบอัตราการหายใจ ซึ่งภาชนะที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิดจะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน

วิธีการทดลองทั้งหมดที่ใช้ในการวัดอัตราการหายใจส่วนที่สำคัญ คือ เวลา และแรงงาน ซึ่งข้อดี และข้อจำกัดของวิธีที่แตกต่างนั้น ได้แสดงดังตารางที่ 2 โดยไม่มีวิธีไหนใช้วัดอัตราการหายใจได้สมบูรณ์ และดีที่สุด สิ่งสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวิธีวัดอัตราการหายใจ คือ ประโยชน์ และข้อจำกัดต่าง ๆ ของแต่ละวิธี

อริศรา เฟื่องฟูชาติ และคนอื่น ๆ (2549) ได้นำโมเดลคณิตศาสตร์พื้นฐานทางจลนศาสตร์ของแก๊สดังสมการที่ 5 รวมทั้งเมตาโบลิซึมของผลิตผลมาใช้ เพื่อช่วยในการทำนายสัดส่วนของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในถุงบรรจุ โมเดลดังกล่าวจึงช่วยให้ออกแบบลักษณะการบรรจุ รวมไปถึงการพัฒนา และเลือกฟิล์มพลาสติกได้อย่างเหมาะสมในการสร้างการบรรจุหรือการสร้างบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (Equilibrium modified atmosphere; EMA) เมื่อใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สสูง โมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่นำมาใช้นั้น พบว่า มีประสิทธิภาพในการทำนายองค์ประกอบของก๊าซภายในถุงบรรจุสำหรับผลิตผลไทยที่เลือกศึกษาจำนวน 5 ชนิด คือ กระเพรา ข้าวโพดฝักอ่อน คื่นช่าย พริกแดงใหญ่ และโหระพา และการคำนวณโดยอาศัยโมเดลดังกล่าวยังสอดคล้องกับผลการศึกษากับการเก็บรักษาคื่นช่ายบรรจุในถุงที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์สูง พบว่า คื่นช่าย สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลในบรรจุภัณฑ์ได้ โดยมีอัตราส่วนของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 11.5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3.5 ที่อุณหภูมิ 5 ถึง 7 °C สภาวะดังกล่าวส่งผลให้คื่นช่ายมีอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 ถึง 36 วัน โดยมีอัตราการสูญเสียให้น้ำน้อยมาก

$$\frac{\Delta[Gas]_{inside}}{\Delta t} = \frac{RT}{PV} (J_{film, Gas} \cdot S_{film}) - R_{Gas} W \quad (5)$$

โดยที่	$[Gas]_{inside}$	=	ปริมาณแก๊สที่อยู่ในภาชนะบรรจุในรูปของ mole fraction
	t	=	เวลาการเก็บรักษา
	R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส
	T	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์
	P	=	ความดันบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ
	V	=	ปริมาตรของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์หรือ Head space

$J_{\text{film,Gas}}$	=	อัตราการสวนของแก๊สที่ผ่านเข้า และออกของฟิล์ม
S_{film}	=	พื้นที่ผิวที่แก๊สซึมผ่าน
R_{Gas}	=	อัตราการใช้หรือผลิตแก๊สจากกระบวนการหายใจ
W	=	น้ำหนักตัวอย่าง

ตารางที่ 2.2 ลักษณะสำคัญของวิธีการวัดอัตราการหายใจฝักและผลไม้

Characteristics	System		
	Closed	Flow through	Permeable
Non-destructive	✓	✓	✓
Time and labour consuming	✓	✓	✓
Complexity of experimental set-up	Simple	Complex	Complex
Ability to test different combinations of gases	✓	✓	X
Concentration is kept approximately constant during the experiment	X	✓	✓
Suitable for low respiring products	✓	X	✓
Suitable for high respiring products	X	✓	✓
Accuracy is very sensitive to determination of	Free volume	Flow-rate	Permeable package dimension, steady-state concentration

^a If only the steady-state conditions are used in the calculations.

ที่มา: Fonseca et al. (2002)

2.4 บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศหรือ MAP คือ การเก็บรักษาความสดของผัก โดยการชะลออัตราการหายใจของผักสดด้วยความสมดุลของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุควบคู่ไปกับการเก็บผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผักชนิดนั้น ๆ การใช้ MAP ในการยืดอายุการเก็บรักษา และสามารถคงคุณภาพของผักให้ได้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแก๊สภายในภาชนะบรรจุเป็นหลัก เมื่อได้สัดส่วนของแก๊สที่เหมาะสมต่อผักชนิดนั้น ๆ ก็สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักให้ยาวนานขึ้น

ปัจจุบัน MAP กำลังได้รับความนิยมในการใช้เพื่อผลิตผักสดพร้อมบริโภคจำหน่าย หลักการของ MAP คือ การเก็บรักษาความสดของผักโดยการชะลออัตราการหายใจของผักสดด้วยความสมดุลของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุควบคู่ไปกับการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักชนิดนั้น ๆ การชะลออัตราการหายใจเป็นการลดอัตราการเผาผลาญสารอาหารจำพวก แป้ง น้ำตาล กรดอินทรีย์ และไขมันที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชไปเป็นพลังงาน จึงส่งผลให้ผักสามารถคงความสดได้ยาวนานขึ้น เช่น ความหวาน และความกรอบ (Zagory, 1995) การใช้ MAP ในการยืดอายุการเก็บรักษาผักให้ได้ผลดี และสามารถคงคุณภาพของผักให้นานขึ้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแก๊สภายในภาชนะบรรจุเป็นหลัก สัดส่วนที่เหมาะสมจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ให้ยาวนาน แต่หากเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่ไม่ถูกต้องสิ่งที่ตามมา คือ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผัก และอายุการเก็บรักษายิ่งสั้นลงกว่าเดิม ปัจจุบันแก๊สที่นิยมใช้ในการดัดแปลงบรรยากาศยังคงเป็นออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ในขณะที่แก๊สชนิดอื่น เช่น ไนตรัส ไนตริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และโพธิ์ลิเนียมออกไซด์ ซึ่งเคยมีการทดลองนำมาใช้แล้ว พบว่า ได้ผลดี แต่ยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากการจำกัดในด้านความปลอดภัยต่อการบริโภค ภาวะเจ็บป่วย และต้นทุนการผลิต นอกจากหลักการสำคัญของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้แล้ว การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมจะลดการเผาผลาญพลังงานในผัก ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการขนส่งผัก และระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค การเก็บในอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อยจะยืดอายุการเก็บรักษาผักให้นานขึ้น แต่อาจไม่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผักที่ผ่านการแปรรูปแล้ว เนื่องจากผิวและเนื้อของผักเปลี่ยนรูปทรงไปเมื่อเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ โดยผักที่สูญเสีย น้ำได้ง่ายจะต้องควบคุมความกดอากาศหากเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2546)

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักและผลไม้สดจึงเป็นการหาสัดส่วนของแก๊สในบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุผักผลไม้ที่เหมาะสม เพื่อชะลอกระบวนการหายใจตามธรรมชาติของผักให้ยังคงสามารถดำเนินต่อไปแม้ถูกเก็บเกี่ยวมาแล้ว และหากผักนั้นได้ผ่านขั้นตอน ตัดแต่งหรือหั่นชิ้นด้วยแล้วกระบวนการหายใจจะยังมีอัตราสูงขึ้น ในกระบวนการหายใจออกซิเจนจะถูกใช้ในกระบวนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต และกรดอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นผลทำให้คุณภาพของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากการศึกษา พบว่า การยับยั้งการหายใจของผักตัดแต่งพร้อมบริโภคให้ได้ผลดีจำเป็นที่จะต้องลดปริมาณออกซิเจน ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องใช้ในกระบวนการหายใจ และเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ รวมทั้งเก็บผักผลไม้ในอุณหภูมิต่ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ผักตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุในภาชนะบรรจุแบบ MAP เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสม และคงที่

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานั้น นอกจากจะช่วยชะลออัตราการหายใจแล้ว ยังช่วยป้องกันความเสียหายของเนื้อเยื่อ และกลิ่นเหม็นจากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของผักได้อีกด้วย

สำหรับวิธีการสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุให้มีสัดส่วนตามที่ต้องการนั้นมี 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ Active modification เป็นวิธีการแทนที่อากาศเริ่มแรกภายในภาชนะบรรจุด้วยแก๊สผสมที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบของแก๊สแต่ละชนิดตามต้องการ และรักษาสัดส่วนของแก๊สให้อยู่ในระดับที่ต้องการตลอดเวลา และ Passive modification การอาศัยคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเป็นตัวกำหนดสัดส่วนของแก๊สชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งตามปกติพลาสติกฟิล์มที่ใช้จะมีความสามารถในการยอมให้แก๊สชนิดต่าง ๆ ซึมผ่านได้ในอัตราที่แตกต่างกัน การเลือกฟิล์มพลาสติกที่เหมาะสมสามารถทำให้ระดับออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุน้อยลง และเพิ่มระดับคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ออกซิเจนถูกใช้ในการกระบวนการหายใจ และปลดปล่อยเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการหาส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผัก คือ อัตราการหายใจของผัก คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ได้แก่ อัตราการซึมผ่านของแก๊ส และสภาวะการเก็บรักษา

คุณสมบัติที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุแบบ MAP คือ การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้กับผัก อาจจะคำนวณอัตราการซึมผ่านของแก๊สโดยอาศัยหลักการต่อไปนี้ คือ ที่สภาวะสมดุลความชื้นของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์จะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นสัดส่วนผสมของบรรยากาศที่เหมาะสมที่สุดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผักชนิดนั้น ๆ คือ อัตราของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักผลิตออกมาจะเท่ากับอัตราของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซึมผ่านฟิล์มออกไป และอัตราของออกซิเจนที่ผักดูดเข้าไปใช้ในการหายใจจะเท่ากับอัตราของออกซิเจนที่ซึมผ่านจากภายนอกบรรจุภัณฑ์เข้าไปภายในบรรจุภัณฑ์ Pirovani, Piagentini, Guemes and Pentima (1997) ได้ทำการศึกษาการเก็บรักษาผักกาดหอมที่อุณหภูมิ 4 °C โดยบรรจุด้วยฟิล์ม 3 ชนิด ได้แก่ Oriented polypropylene (OPP), RD106, Polyvinyl chloride (PVC) และอากาศปกติ พบว่า เมื่อเก็บผักกาดหอมเป็นเวลา 8 วัน ผักกาดหอมที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP มีปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ลดลงเท่ากับร้อยละ 1.5 และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 12 ส่วนฟิล์มชนิด RD106 และ PVC มีปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติ จากการศึกษา พบว่า ฟิล์มทั้งสองชนิดนี้เหมาะสมที่จะนำไปผลิตในเชิงการค้ามากที่สุด Teixeira, During, Alves and Hare, (2007) ได้ศึกษาอัตราการสูญเสียน้ำหนักใน มะเฟืองตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC และ Polyolefin (PLO) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6.8 °C เป็นเวลา 12 วัน พบว่า การเก็บรักษาที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด POL ทั้งนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC และ POL มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน และ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ปัจจุบันศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เรียกว่า บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ มีคุณสมบัติในการควบคุมแก๊สที่ใช้ในกระบวนการหายใจผ่านเข้า ออกที่เหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการในการควบคุมอัตราการใช้และสร้างแก๊สในกระบวนการหายใจของผักและผลไม้สดบางชนิด การบรรจุด้วยฟิล์มชนิดนี้เป็นการบรรจุหรือการสร้างบรรยากาศคัดแปลงแบบสมดุลในบรรจุภัณฑ์ โดยทั่วไปพบว่าระดับอัตราส่วนของแก๊สออกซิเจนในช่วงร้อยละ 5 ถึง 10 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2 ถึง 15 มีผลให้เกิดการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้เพิ่มขึ้นได้ 2 ถึง 3 เท่า และนอกจากนั้นยังสามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ระหว่างร้อยละ 95 ถึง 98 ทำให้ผักผลไม้คงความสดได้นานขึ้น และจากการวิจัย พบว่า การใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟขนาด 8 x 16 นิ้ว บรรจุโหระพาปริมาณ 200 กรัม ปิดผนึก (Sealed) หัวท้าย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ถึง 12 °C สามารถเก็บรักษาโหระพาได้เป็นเวลา 12 วัน โดยทำการเปรียบเทียบกับโหระพาที่เก็บรักษาโดยบรรจุในถุงฟิล์มพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ที่มีการเจาะรู พบว่า โหระพามีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 วันเท่านั้น (บริษัท ทานตะวันอุตสาหกรรม จำกัด, www, 2554) และปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ได้มีการนำฟิล์มชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) มาใช้ในการบรรจุผัก ซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด เนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่หาซื้อง่าย และเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลิตผลได้เป็นอย่างดี นอกจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วการออกแบบบรรจุภัณฑ์ยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเก็บรักษาผักชนิดนั้น ๆ ด้วย สำหรับตัวอย่างอัตราส่วนของบรรยากาศใน MAP และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักผลไม้สดคัดแต่งพร้อมบริโภคที่ได้มีการศึกษาแล้วสรุปไว้ในตารางที่ 2.1 ทั้งนี้อัตราส่วนของบรรยากาศที่ระบุให้มานั้นเป็นข้อมูลที่ Farber et al. (2003) รวบรวมมาจากข้อมูลวิจัยหลายแหล่ง จึงได้ค่าของอุณหภูมิ และสัดส่วนของบรรยากาศสำหรับผัก และผลไม้ชนิดต่าง ๆ เป็นช่วงของอุณหภูมิ และช่วงของปริมาณแก๊ส หรือกล่าวได้ว่าค่าดังกล่าวมีความถูกต้องขึ้นกับสายพันธุ์พืช และวิธีการวัดซึ่งไม่ได้มีระบุไว้ชัดเจน

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของบรรยากาศใน MAP และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ได้มีการศึกษาแล้ว

ชนิดผักผลไม้	อุณหภูมิ (°C)	สัดส่วนของบรรยากาศ (%)		ประสิทธิภาพ
		O ₂	CO ₂	
หัวบีท (แดง) ชูด, หั่นเต๋า	0-5	5	5	ปานกลาง
บรอกโคลี	0-5	2-3	6-7	ดี
กะหล่ำปลี (หั่นฝอย)	0-5	5-7.5	15	ดี
แครอทหั่น	0-5	2-5	15-20	ดี
ต้นหอมหั่น	0-5	5	5	ปานกลาง
ผักกาดหอมหั่น	0-5	0.5-3	5-10	ดี
เห็ดสไลด์	0-5	3	10	ไม่รับรอง
หัวหอมหั่น	0-5	2-5	10-15	ดี
พริกหั่น	0-5	3	5-10	ปานกลาง
มันฝรั่งทั้งลูกปอกเปลือก, สไลด์	0-5	1-3	6-9	ดี
มะเขือเทศสไลด์	0-5	3	3	ปานกลาง
แอปเปิ้ลสไลด์	0-5	<1	-	ปานกลาง
แคนตาลูปหั่นเต๋า	0-5	3-5	6-15	ดี
กีวี่สไลด์	0-5	2-4	5-10	ดี
ส้มสไลด์	0-5	14-21	7-10	ปานกลาง
พีชสไลด์	0-5	1-2	5-12	ไม่ค่อยดี
ลูกแพร์สไลด์	0-5	0.5	<10	ไม่ค่อยดี
สตอเบอรี่สไลด์	0-5	1-2	5-10	ดี

ที่มา: Farber et al. (2003)

จากงานวิจัยและผลการศึกษาที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นว่าการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ในการดำรงชีวิต โดยปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้นการหายใจจึงเป็นการดึงเอาสารอาหารที่พืชสะสมไว้ไปใช้อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้คุณค่าทางอาหารของผักลดลงเรื่อย ๆ นอกจากนี้แล้วการหายใจยังให้ความร้อนออกมา ซึ่งความร้อนนี้จะไปกระตุ้นให้อัตรา

การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ทางกายภาพเกิดได้เร็วขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือช่วยเร่งการสูญเสียคุณภาพเร็วขึ้นด้วย แม้จะมีการนำเอาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศใช้ในการเก็บรักษาผักคัดแต่งพร้อมบริโภคเพื่อรักษาคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานที่สุดนั้นจำเป็นต้องทราบอัตราการหายใจของผักชนิดนั้น ๆ เพื่อนำมาเป็นพื้นฐานในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ปัจจุบันการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสามารถออกแบบได้จากการใช้สมการทำนายอัตราการหายใจของผัก เพื่อประมาณอัตราส่วนของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ณ สภาวะสมดุลพร้อมทั้งระยะเวลาที่แก๊สดังกล่าวเข้าสู่สภาวะสมดุลเท่านั้น แต่การระบุอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นยังคงต้องอาศัยการตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย ซึ่งต้องใช้งบประมาณสูง และเวลาทดลองที่ยาวนานหรือกล่าวได้ว่ายังไม่มี การเชื่อมโยงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจในเชิงคำนวณที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของผักสด



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

กรีนไอค์ และแบตเตอรี่เสดตัดแต่งพร้อมบริ โภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 ผสมแก๊สด้วยเครื่องผสมแก๊ส (Gas mixer) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน วัดค่าสี วัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล (Ethanol) วัดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก และวัดอัตราการหายใจ

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 ผักสลัดสายพันธุ์กรีนไอค์ ปลุกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์
- 3.1.2 ผักสลัดสายพันธุ์แบตเตอรี่เสด ปลุกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์
- 3.1.3 ถูพลาสติกชนิด LLDPE ขนาด 7 x 11 นิ้ว
- 3.1.4 แก๊สออกซิเจน (High purity, 99.99%)
- 3.1.5 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (High purity, 99.8%)
- 3.1.6 แก๊สไนโตรเจน (High purity, 99.8%)

3.2 การเตรียมตัวอย่างผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภครวมและบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

กรีนไอค์ และแบตเตอรี่เสด เก็บจากแปลงปลูกฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตัดแต่งเป็นชิ้นให้มีขนาดประมาณ 3 x 3 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาด สลัดน้ำออกจากชิ้นผักด้วยเครื่อง Salad spinner ชั่งน้ำหนัก 40 กรัม บรรจุในถุงชนิด LLDPE (ขนาด 7 x 11 นิ้ว หนา 0.14 มิลลิเมตร) ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ถุงบรรจุเป็น 2 ชั้น จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า หากใช้ถุงชั้นเดียว สัดส่วนของแก๊สเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สมดุลรวดเร็วมาก ดังนั้นจึงทำการทดสอบหาอัตราการซึมผ่าน และตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ พบว่า หากใช้ถุง 2 ชั้น สามารถรักษาสัดส่วนของแก๊สที่ต้องการได้ อัตราการซึมของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านแผ่นฟิล์มมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.64 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ และดัดแปลงบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยผสมแก๊สด้วยเครื่อง Gas mixer (WITT-Gasetechnik GmbH & Co KG D-58454, Germany) ให้ได้

สัดส่วนความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 15 และ 10 ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 (ตัวอย่างควบคุม) ใช้แก๊สไนโตรเจนในการปรับสมดุลความเข้มข้นของแก๊ส ก่อนการบรรจุแก๊สในบรรจุภัณฑ์ ได้ทำการทดสอบสัดส่วนของแก๊ส โดยใช้เครื่อง Oxybaby ต้องการนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C

3.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาวะการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

3.3.1 การวัดค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์

ปรับแต่งบรรยากาศ ดัดแปลงจากวิธีการของ Angos, Viseda, and Fernandez, (2008);

Fukumoto, Toivonen and Delaquis (2002)

การวัดการเปลี่ยนแปลงของสีของผักสลัดผักด้วยเครื่อง Colorimeter (Minolta Colorimeter CR-300, Konica Minolta, Osaka, Japan) โดยตัวอย่าง 1 ถูง สุ่มวัด 10 ตำแหน่ง ค่าที่ได้เป็นค่ามาตรฐานในระบบ CIE ได้แก่ L^* , a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความสว่าง a^* มีค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงสีแดง a^* มีค่าเป็นลบบ่งบอกถึงสีเขียว และ b^* ที่มีค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงสีเหลือง b^* มีค่าเป็นลบบ่งบอกถึงสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณหาค่าสีที่แตกต่างกันทั้งหมด (Total color different, ΔE) จากสมการที่ 7 และคำนวณค่า Hue angle (H°) ซึ่งค่า Hue angle คือ ค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะสี จากค่าสีของสีหลัก ได้แก่ แดง เขียว และน้ำเงิน โดยสีน้ำเงินมีค่าอยู่ที่ 0 องศา สีเขียว 120 องศา และสีแดง 240 องศา โดยนำค่า a^* และ b^* มาคำนวณหาค่า Hue angle จากสมการที่ 8

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

$$H^\circ = 180^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (7)$$

3.3.2 การวัดกิจกรรมเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษา

ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศการ คัดแปลงจากวิธีการของ Altunkaya and Gokmem (2008); Altunkara, Becker, Gokmen and Skibsted (2009); Degl'Innocenti et al. (2005) และ Dawlik-Dziki, Zlotek and Swieca (2008)

สกัดเอนไซม์ PPO โดยชั่งตัวอย่างผัก 4 กรัม เติมน้ำละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.5) ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ซึ่งในสารละลายดังกล่าวมีส่วนผสมของร้อยละ 5 โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVPP) และแอสคอร์บิกแอซิด (Ascorbic acid) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปั่นผสม (Homogenizer) 12,000 รอบต่อนาที ปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 18,000 x g อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 นาที เก็บเอาส่วนใสเพื่อไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายแคเทคอล (Catechol) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.95 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (G161, GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., Australia) ที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร โดยวัดทุก ๆ 10 วินาที เป็นเวลา 5 นาที โดย 1 Unit คือ ค่า Absorbance ที่เปลี่ยนแปลงไป 0.01 ต่อ 1 นาที และตัวอย่างการคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้แสดงไว้ในภาคผนวก 1

3.3.3 การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลของผักสลัดตัดแต่งพร้อม

บริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ คัดแปลงจากวิธีการของ Altunkaya and Gokmem (2008) และ Degl'Innocenti et al. (2005)

สกัดสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยชั่งตัวอย่างผัก 3 กรัม เติมน้ำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 ปั่นผสมด้วย Homogenizer ความเร็วเท่ากับ 12,000 รอบต่อนาที ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Sorvall Legend Mach 1.6 R Centrifuge, Thermo-Scientific, Thermo Electron LED GmbH, Germany) ที่ 15,000 x g อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใสเพื่อไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลโดยสารสกัด 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย Folin-cioaltea reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (G161, GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., Australia) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Gallic acid และตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก 2

3.3.4 การวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

วัดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักผักสลัดก่อน และหลังการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ โดยไม่รวมน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ นำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ค่าที่ได้คำนวณออกมาเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากสมการที่ 6

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{(\text{Weight}_{(\text{Before})} - \text{Weight}_{(\text{after})})}{\text{Weight}_{(\text{Before})}} \times 100 \quad (8)$$

3.4 การวัดอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

วัดอัตราการหายใจ โดยเก็บแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ก่อนเปิดบรรจุภัณฑ์ วิเคราะห์ปริมาณของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography รุ่น GC-2010 (Shimadzu) ใช้อุปกรณ์ตรวจวัด (Detector) ชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD) และใช้คอลัมน์แบบแพคคอลัมน์ (Pack column) สำหรับแยกแก๊ส (L 1/4" x 1.8 m Support WG-100) ระบุตำแหน่งของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่แก๊สเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ (Retention time) กับกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.1 ปริมาตรของแก๊สที่ฉีด 0.5 มิลลิลิตร สภาวะการวิเคราะห์แก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ คือ อุณหภูมิส่วนที่ฉีดแก๊ส (Injector temperature) อุณหภูมิคอลัมน์ (Column temperature) และอุณหภูมิอุปกรณ์ตรวจวัด (Detector temperature) 50 องศาเซลเซียส กระแสไฟฟ้า (Bridge current) 120 m V ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สพา (Carrier gas) โดยใช้อัตราการไหล (Flow rate) เท่ากับ 40 มิลลิลิตรต่อนาที และคำนวณหาอัตราการหายใจจากปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ ดังสมการที่ 9

$$V_{O_2,t} = V_{O_2,t_0} + P_{O_2} \Delta t - \dot{V}_{O_2,con} \Delta t \quad (9)$$

$$V_{CO_2,t} = V_{CO_2,t_0} + \dot{V}_{CO_2,gen} \Delta t - P_{CO_2} \Delta t \quad (10)$$

กำหนดให้	V_{O_2}	=	ปริมาตรของแก๊สออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์
	P_{O_2}	=	ค่าการซึมของแก๊สออกซิเจนผ่านแผ่นฟิล์ม
	$\dot{V}_{O_2,con}$	=	อัตราการใช้ออกซิเจนจากการหายใจของผักสลัด
	V_{CO_2}	=	ปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

P_{CO_2}	=	ค่าการซึมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านแผ่นฟิล์ม
$\dot{V}_{CO_2,gen}$	=	อัตราการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของผักสลัด
t	=	เวลา ณ เวลาใด ๆ
t_0	=	เวลาเริ่มต้น

3.5 หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

สังเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากหัวข้อ 3.4 และ 3.5 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจของผักสลัด โดยพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจได้

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 19 (SPSS Inc., Illinois, U.S.A.)

3.7 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

กรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริ โภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน วัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่มีรายการศึกษาว่า เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริ โภค ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงสี อัตราการสูญเสียน้ำหนัก กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล และวัดอัตราการหายใจ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับ อัตราการหายใจ โดยวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และอัตราการหายใจจากสภาวะที่ตัวอย่างยังมีสภาพปกติไปจนถึงสภาวะเสื่อมเสียของคุณภาพที่แสดงให้เห็นได้ชัดเจน แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจ เพื่อให้ได้ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้อายุการเก็บรักษา และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริ โภค ซึ่งนำไปสู่ผลสรุปที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสลัดได้

4.1 ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริ โภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

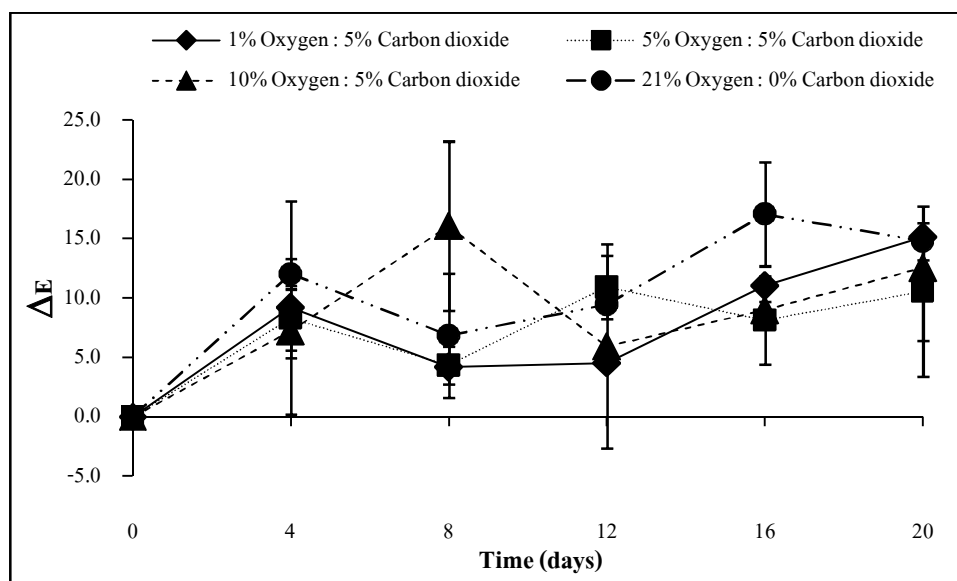
4.1.1 ผลการวัดค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริ โภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากผลการวัดค่าสีของกรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริ โภคเก็บด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน วัดค่าสี ได้แก่ L^* , a^* และ b^* นำค่าดังกล่าวนี้มาคำนวณค่า ΔE และคำนวณค่า H^* พบว่า สภาวะการปรับแต่งบรรยากาศมีผลทำให้ค่า ΔE และ H^* ของแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริ โภคมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทุก ๆ สภาวะที่เก็บรักษากรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สด ค่า ΔE และ H^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 4.1-4.4) และการเก็บรักษาใน

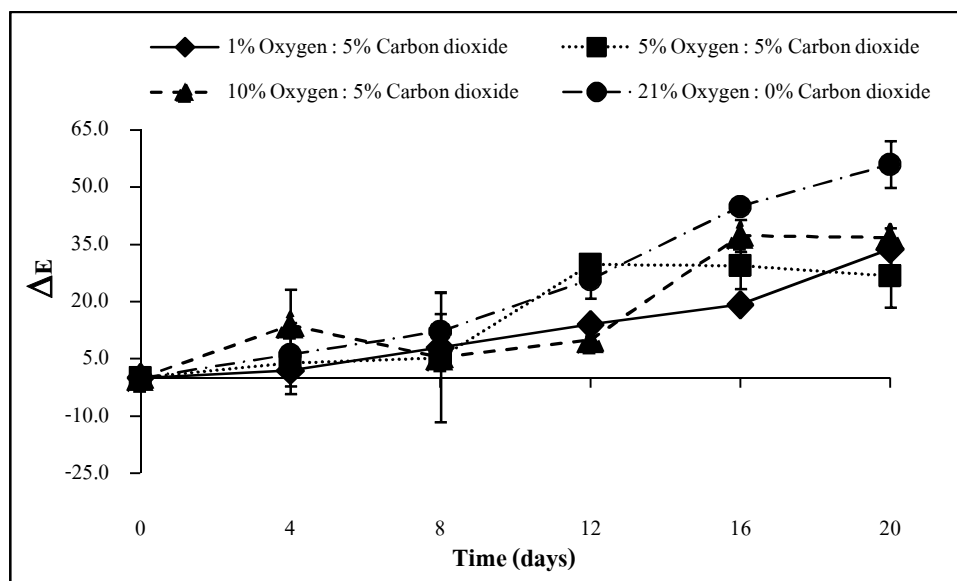
สภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 ค่าดังกล่าวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าสภาวะอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Peiser, Lopez-Galvez, Cantwell, และ Saltveit (1998) พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำร่วมกับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถลดการเกิดสีน้ำตาล และการเกิดสารประกอบฟีนอล ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาล จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง Ballantyne, Strak, และ Selman, (1988) พบว่า สีน้ำตาลเริ่มเกิดขึ้นในผักกาดหอมตัดแต่ง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ในบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5°C เมื่อปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:12 สามารถยืดระยะเวลาการเกิดสีน้ำตาลได้ถึง 2 สัปดาห์ การเก็บรักษาผักกาดหอมพร้อมบริโภคน้ำตาลในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำร่วมกับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงนอกจากจะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล และการเกิดสารประกอบฟีนอลแล้ว ยังช่วยลดการหายใจ ซึ่งทำให้การเกิดแก๊สเอทิลีนลดลง (งานทิพย์, 2538; Jaxsens et al., 2003) หากแก๊สเอทิลีนลดลง การสูญเสียคลอโรฟิลล์ก็ลดลงด้วยเช่นกัน (Peiser et al., 1998) ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่สำคัญสำหรับพืช เพราะเป็นสารสีที่รับเอาพลังงานจากแสงแดดแล้วส่งถ่ายต่อไปจนพลังงานนี้เปลี่ยนเป็นพลังงานทางชีวเคมี เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต เมื่อสีอายุสีเขียวของพืชก็จะเปลี่ยนเป็นสีอื่น ๆ พืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และ บี แต่มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน จึงให้สีเขียวของใบ และต้นที่แตกต่างกัน คลอโรฟิลล์เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงิน ส่วนคลอโรฟิลล์บี ให้สีเขียวอมเหลือง ดังนั้น Hue angle เป็นค่าที่บ่งถึงบอกเจตสีของตัวอย่างได้ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ค่า Hue angle ในตัวอย่างทุก ๆ สภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา หมายความว่า กรีน โอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ สีเขียวของผักเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง สำหรับมนุษย์ สีของพืชยังเป็นส่วนประกอบของข้อมูลคุณภาพ (Quality information) เบื้องต้น นอกเหนือไปจากรูปทรง (Form) และการปราศจากตำหนิ (Freedom from defects) ซึ่งเป็นสามเกณฑ์หลักที่มนุษย์ใช้ในการพิจารณาคุณภาพสำหรับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ตัวอย่างเช่น ระดับความสุกของผลไม้ (ในกล้วย) เพราะสีเป็นความประทับใจแรกในการมองเห็น และใช้ในการตัดสินใจคุณภาพ (Kays, 1991)

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของกรีน โอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศต่างสภาวะที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 20 วัน พบว่า อัตราส่วนผสมของแก๊สเริ่มต้นมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของสี โดยการเปลี่ยนแปลงของสีมีอัตราเพิ่มตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเมื่อพิจารณาจากลักษณะที่ปรากฏ พบว่า กรีน โอ๊คที่เก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 8 วัน (รูปที่ 4.5) เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ ซึ่งเริ่มมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นบริเวณก้านใบ และรอยตัด และที่สภาวะเดียวกันนี้ก็พบว่าสามารถเก็บรักษาบัตเตอร์เฮดได้เป็น

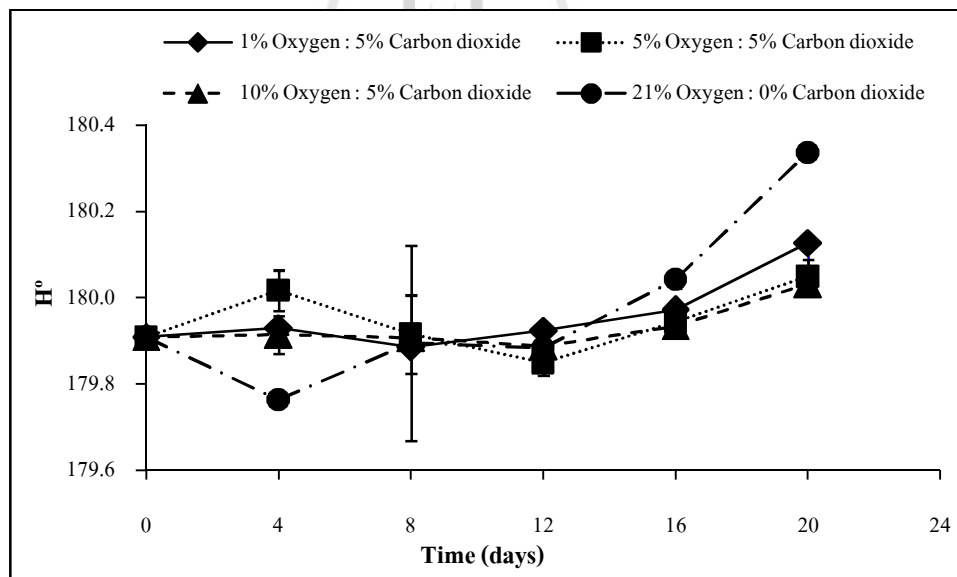
ระยะเวลา 16 วัน (รูปที่ 4.6) ทั้งนี้อายุการเก็บรักษาในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาจาก ลักษณะการเหี่ยว สีนํ้าตาลที่เกิดขึ้น และลักษณะโดยรวมที่แตกต่างจากลักษณะเริ่มต้นหรือก่อนการเก็บรักษา ดังนั้นเห็นได้ชัดว่าอัตราส่วนผสมของแก๊สเริ่มต้นที่ใช้ในการปรับแต่งบรรยากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริโภค



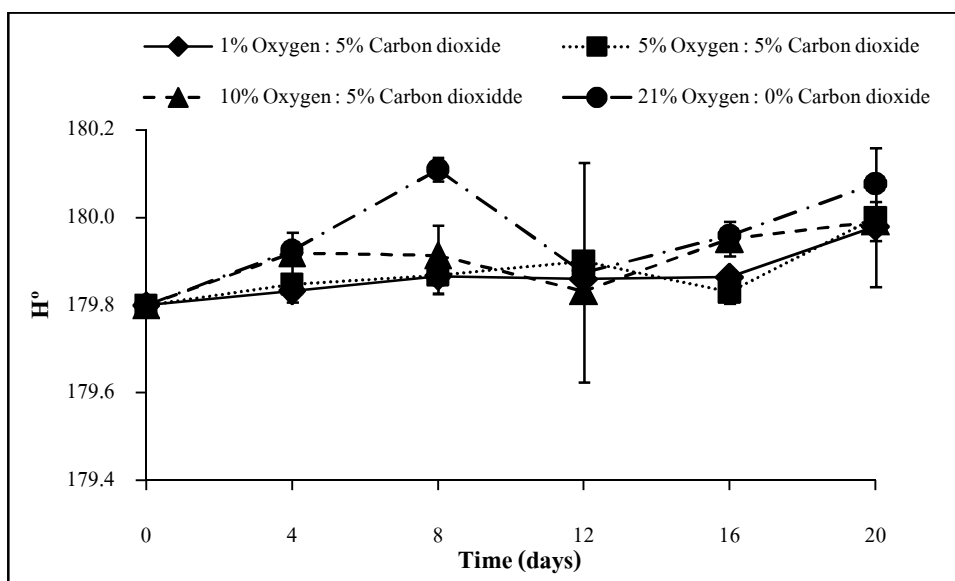
รูปที่ 4.1 ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.2 ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของปัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง
บรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.4 ผลการวัดค่า Hue angle ของปัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน





รูปที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของกรีน โอ๊คที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C

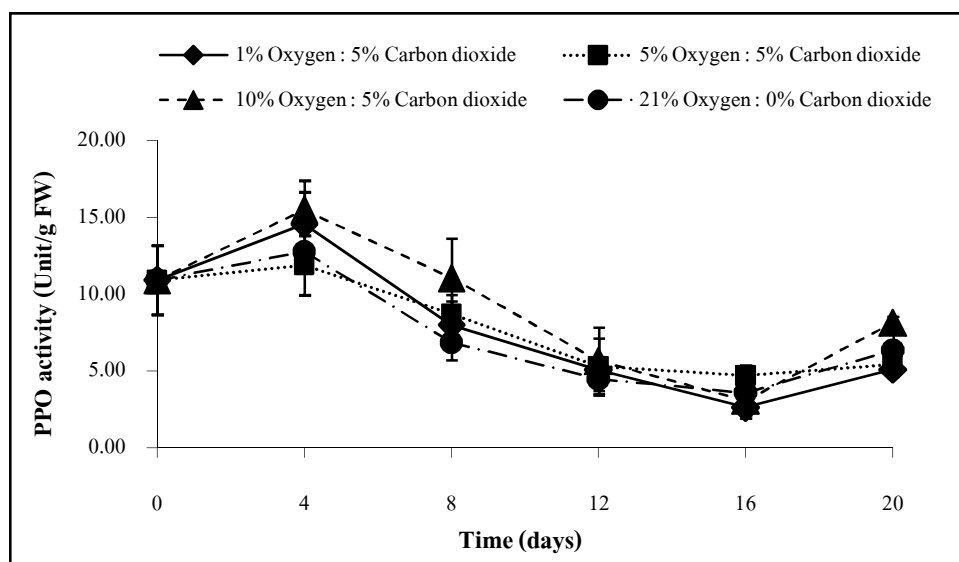


รูปที่ 4.6 ลักษณะที่ปรากฏของบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศเป็นระยะเวลา 16 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C

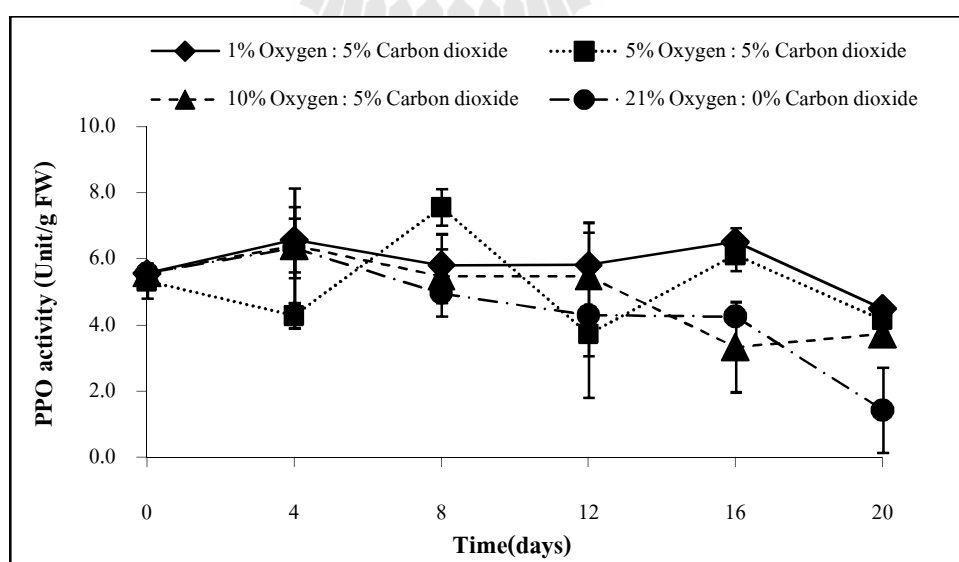
4.1.2 ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีสถานะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา จนกระทั่งสังเกตเห็นลักษณะการเสื่อมสภาพที่ชัดเจน เพื่อติดตามกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ณ วันที่เก็บรักษา ซึ่งจากรายงานการศึกษาส่วนใหญ่ พบว่า เมื่อผักเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้น จากการศึกษา พบว่า กรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาภายใต้บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศทุก ๆ สถานะ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 4.7) ส่วนบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาภายใต้สถานะที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน เช่นเดียวกับกรีนโอ๊ค ซึ่งแตกต่างจากรายงานการศึกษา Deal'Innocenti et al. (2007) พบว่า ในผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นสูงสุดหลังการเก็บรักษาในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4°C ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาในกล่องพลาสติกเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังการเก็บรักษาเร็วกว่าผลที่ได้จากการทดลอง อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาในกล่องพลาสติกไม่มีการปรับแต่งบรรยากาศ และบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้อาจมีค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ และอาจเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ซึ่งการหายใจของผักจะใช้แก๊สออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์ในการหายใจ และมีการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เกิดขึ้น เมื่อเก็บรักษาเพียง 48 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นการปรับแต่งบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ เมื่อกำหนดอัตราส่วนของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับชนิดของผักนั้น ๆ และหากเก็บรักษาในสถานะที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนสูงก็จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลให้เกิดขึ้น (งามทิพย์, 2538; Jacxsen et al., 2003) รายงานการศึกษาของ Escalona, Verlinden, Geysen, และ Nicolai, 2006 พบว่า การเก็บรักษาบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีสถานะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3:5 สามารถช่วยรักษาคุณภาพได้ดีกว่าสถานะปกติ (ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21) และจากการศึกษา พบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเห็นได้จากกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มลดลง

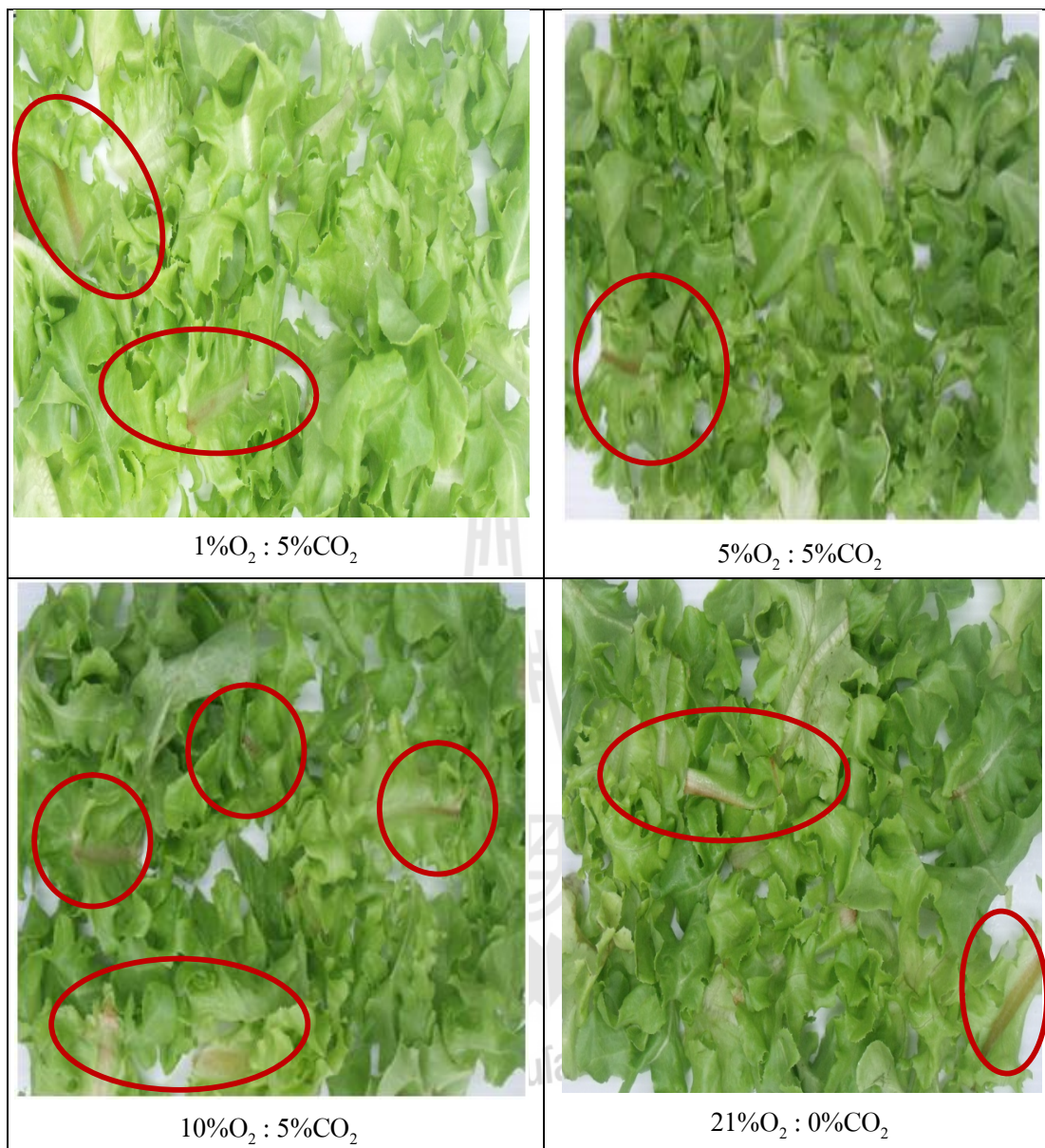
ตามอายุการเก็บรักษา และรักษาเป็นเวลา 12 วัน ทุก ๆ สภาวะการเก็บรักษาเริ่มมีน้ำตาลที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.7 ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



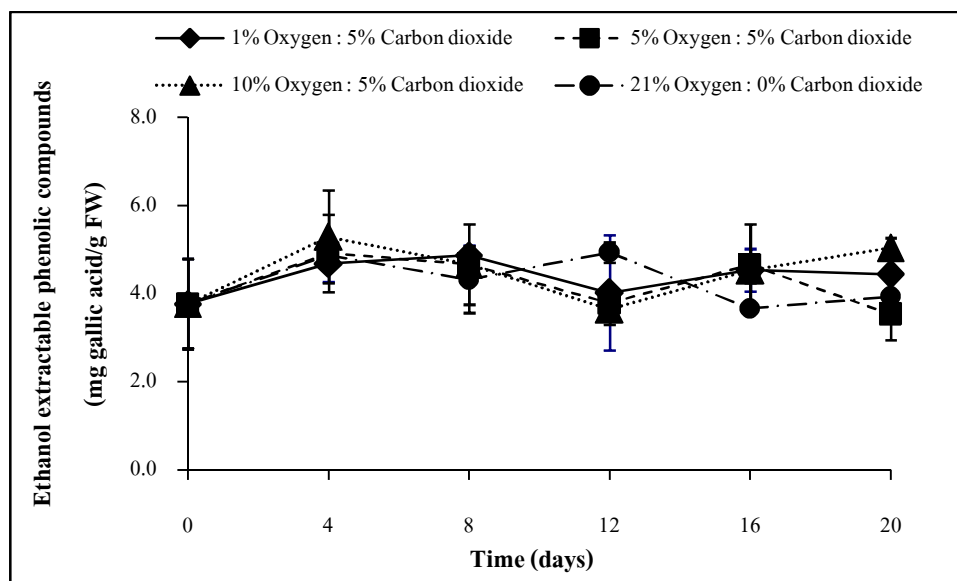
รูปที่ 4.8 ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 20 วัน



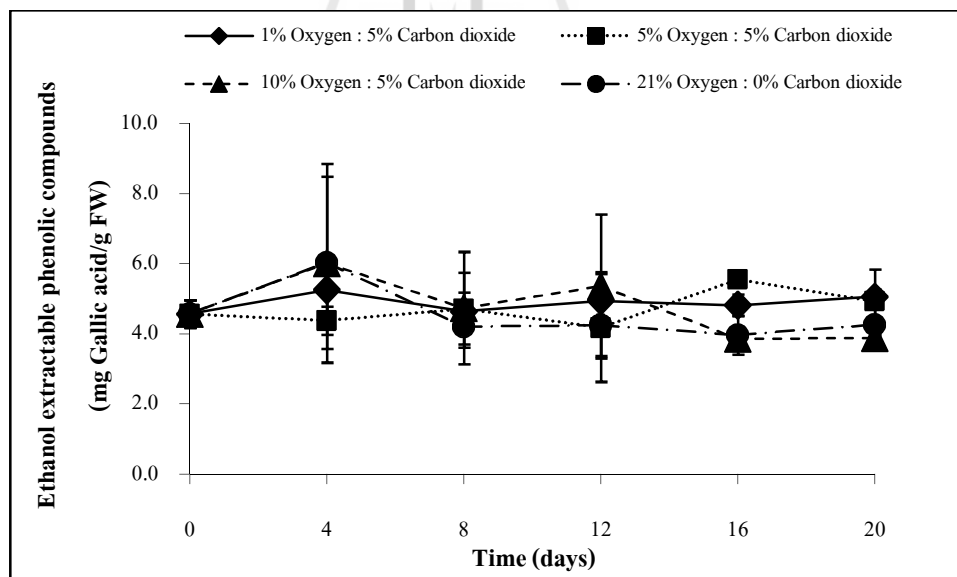
รูปที่ 4.9 ลักษณะปรากฏของกรีน โอ๊คที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศเป็นระยะเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C

4.1.3 ผลการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลของผักสลัดตัดแต่งพร้อม บริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง

การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 พบว่า สภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 4.10 และ 4.11) สารประกอบฟีนอลเป็นสารตั้งต้นของการทำงานของเอนไซม์ PPO ในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยเอนไซม์ PPO จะเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็นควิโนน (Quinone) แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (Polymerization) และมีสีน้ำตาล และมีรายงานการศึกษาว่าการปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นออกซิเจนต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล และลดการเกิดสารประกอบฟีนอลในผักกาดหอมตัดแต่งได้ (จิ่งแท๋, 2549; Watada and Qi, 1999) จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล พบว่า การเก็บรักษาบัตเตอร์เฮดในทุก ๆ สภาวะปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา และจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับแต่งบรรยากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล ซึ่งสารประกอบฟีนอลเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ PPO โดยเมื่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นสารประกอบฟีนอลควรจะลดลง แต่การศึกษานี้ได้ศึกษาเพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลในผักตามอายุการเก็บรักษา ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลจึงไม่สอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดังรายงานในหัวข้อ 4.1.2 โดยปกติเอนไซม์ PPO จะอยู่ในส่วนของคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) หรือในพลาสติก (Plastid) อื่น ๆ แยกต่างหากจากสารประกอบฟีนอล สารตั้งต้นจะสะสมอยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) เมื่อเซลล์ของพืชถูกทำลายลง เอนไซม์กับสารตั้งต้นจึงมีโอกาสดัมผัสกัน และเกิดปฏิกิริยา (Kays, 1991) สารประกอบฟีนอลเกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ดังนั้นถ้าพืชยังมีกระบวนการนี้อยู่ สารประกอบฟีนอลก็จะถูกสร้างขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วัดได้จึงมีค่าใกล้เคียงกันมากตลอดการเก็บรักษา จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค แสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งบรรยากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล และจากการติดตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอล จากสภาพปกติไปจนเห็นการเสื่อมสภาพที่เห็นได้ชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่สามารถใช้ติดตามอายุการเก็บรักษาได้



รูปที่ 4.10 ผลการวัดสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

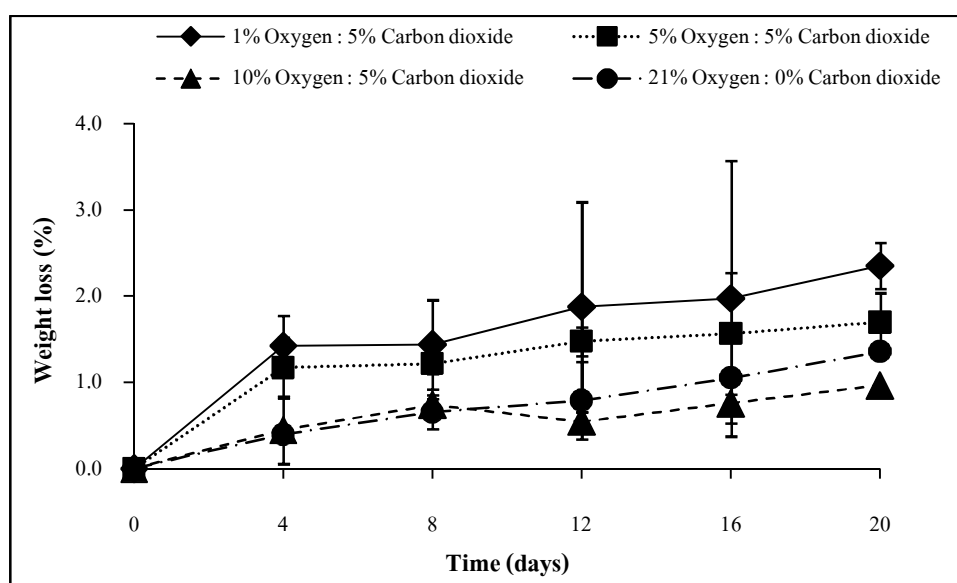


รูปที่ 4.11 ผลการวัดสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

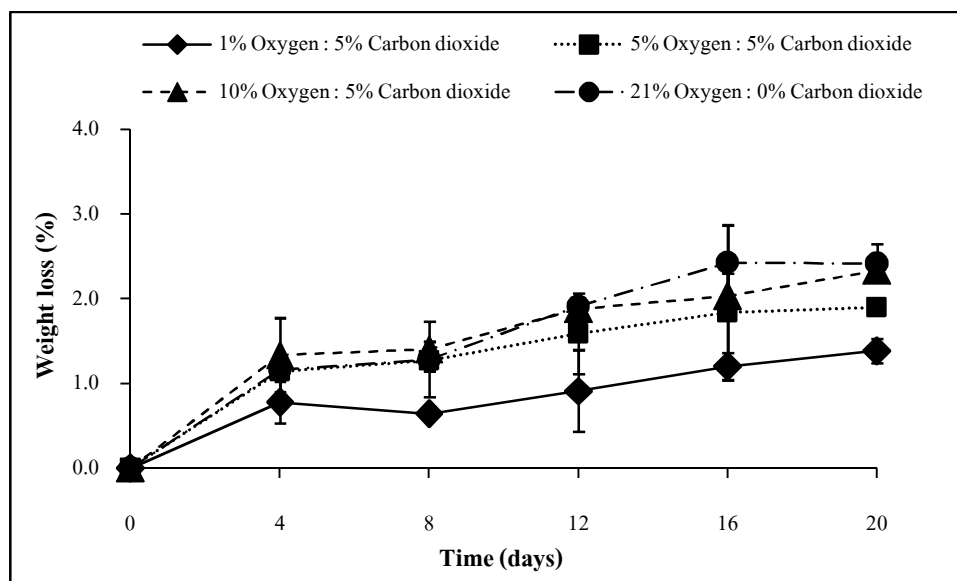
4.1.4 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง

จากการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า ผักตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสองชนิดมีแนวโน้มของอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากผักต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจ ประกอบกับปริมาณความชื้นภายในผักมีสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผักจึงพยายามเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอกตลอดเวลา แม้ว่าผักจะมีโครงสร้างต่าง ๆ เช่น ชั้นของไข (Wax) และคอร์ก (Cork) ที่ปกคลุมผิวอยู่ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ แต่ผักนั้นมักมีช่องเปิดที่ยอมให้น้ำและอากาศผ่านออกได้ เช่น ปากใบ (Stoma) และช่องอากาศ (Lenticel) รวมทั้งบาดแผลต่าง ๆ จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, 2554) นอกจากนั้นในผักตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าผักที่ยังไม่มีการตัดแต่ง เนื่องจากผนังเซลล์ด้านนอกของเนื้อเยื่อที่มีชั้นของ Cuticle ถูกทำลาย (Roura, Moreira and Valle, 2003) จากรูปที่ 4.13 พบว่า กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 มีอัตราการสูญเสีย น้ำหนักน้อยสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาอัตราการสูญเสีย น้ำหนักใน อาโวคาโด (Avocado) ที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 0.5 10 และ 15 kPa เก็บรักษาเป็นเวลา 32 วัน ที่อุณหภูมิ 7 °C พบว่าอาโวคาโดที่เก็บ ด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 0 kPa มีอัตราการสูญเสีย น้ำหนัก สูงสุด และเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (Hertog, Nicholson and Whitmore, 2003) จากผลการวัด อัตราการสูญเสีย น้ำหนักของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ ปรับแต่งบรรยากาศ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าความเข้มข้นของแก๊สที่ใช้ในการปรับแต่งบรรยากาศมี ผลต่ออัตราการสูญเสีย น้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปกติความเข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีเพียงร้อยละ 0.03 แต่ภายในพืชอาจมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ได้ถึง ร้อยละ 10 ขึ้นอยู่กับการหายใจ อัตราการเข้าออกของแก๊ส และองค์ประกอบของบรรยากาศ ภายนอก ในกรณีที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมากจะไปยับยั้งการหายใจของพืชได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ไปยับยั้งปฏิกิริยา Decarboxylation ต่าง ๆ ในกระบวนการหายใจ และมีรายงานการศึกษา พบว่า คาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ Succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจดำเนินต่อไปไม่ได้ แต่ ความต้องการของพลังงาน (ATP) ที่ยังคงมีอยู่จะไปกระตุ้น Glycolysis ให้เกิดเร็วขึ้น ส่วน NAD^+ ที่

ถูกใช้ใน Glycolysis จะถูกนำกลับมารีดิคซ์ Pyruvic acid ไปเป็นแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมัก เช่นเดียวกับกรณีที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำ (Kays, 1991) และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของแก๊สที่ปรับแต่งบรรยากาศมีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ นอกจากอัตราส่วนของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์แล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผัก ซึ่งส่งผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักด้วย เช่น พันธุกรรม ซึ่งพันธุกรรมที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้ผักมีอัตราการหายใจที่แตกต่างกัน (จริงแท้, 2549; Kays, 1991)



รูปที่ 4.12 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีน ไอคัตต์แต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.13 ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

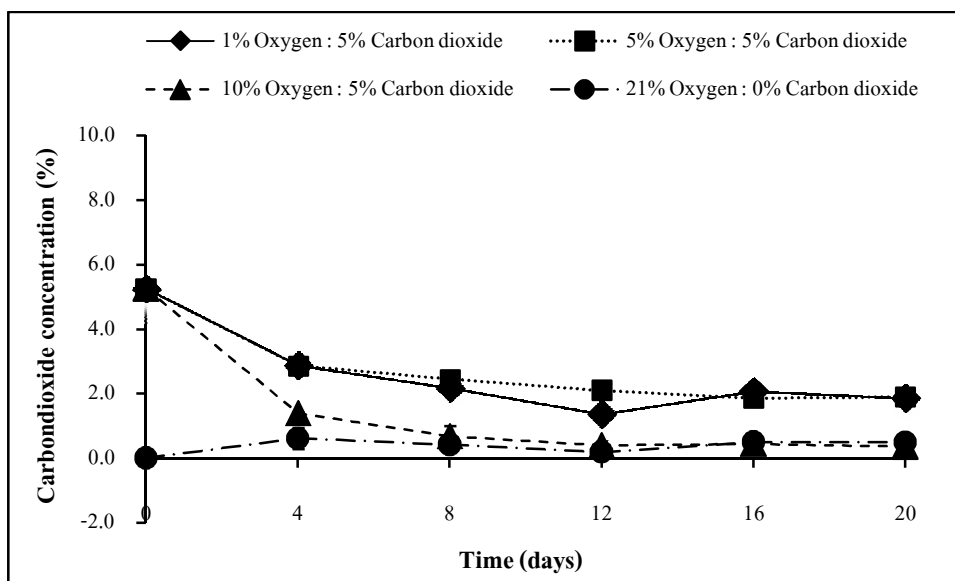
4.2 ผลการวัดอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภครายภายใต้การเก็บรักษาด้วย บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากการวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ เพื่อนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณหาอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครายภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า ในทุก ๆ สภาพที่มีการปรับแก๊สในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นที่ร้อยละ 5 ความเข้มข้นของแก๊สดังกล่าวมีอัตราการลดลงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และจากการศึกษาพบว่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา กรีนโอ๊ค และเข้าสู่ภาวะสมดุลในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาบัตเตอร์เฮด เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการสร้างขึ้นจากกระบวนการหายใจของผักที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถซึมออกจากบรรจุภัณฑ์ได้ และหากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักสร้างขึ้นมีอัตราเท่ากับอัตราการซึมออก จึงทำให้เกิดการเข้าสู่ภาวะสมดุลของแก๊สระหว่างภายใน และภายนอกบรรจุภัณฑ์ ในการทดลองครั้งนี้ใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด LLDPE ซึ่งเป็นโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (0.910-0.925 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมเข้า และออกของแก๊สได้ดี เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้มาใช้ในการทดลองจึง

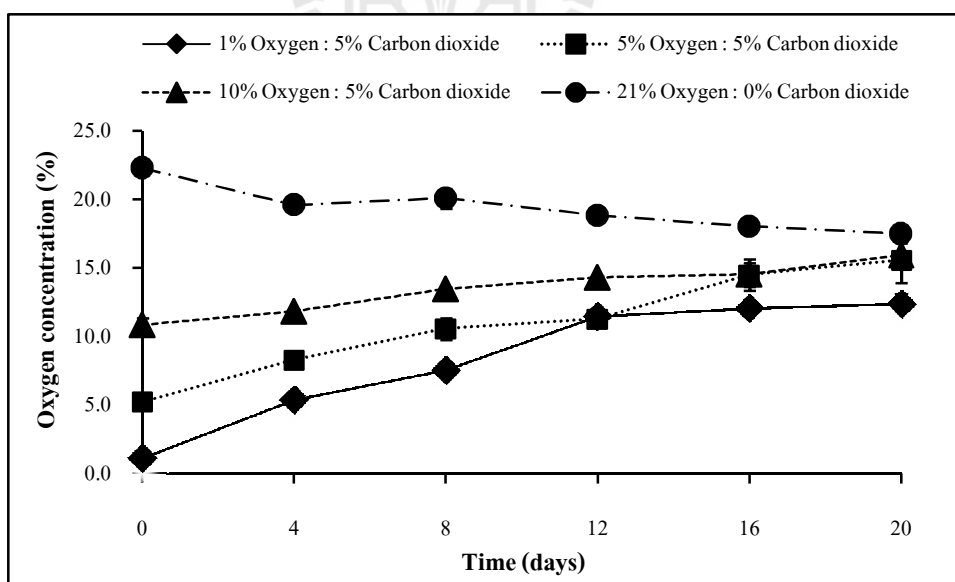
เห็นค่าการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบรรยากาศภายนอกของบรรจุภัณฑ์เป็นบรรยากาศปกติ มีปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เพียงร้อยละ 0.03 เท่านั้น ดังนั้นปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจึงมีการซึมออกสู่บรรยากาศปกติ ในขณะที่แก๊สออกซิเจนมีการซึมออกเนื่องจากความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศปกติมีค่าสูง (ร้อยละ 21) กว่าแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ และพบว่า ตลอดระยะเวลา 20 วัน ตัวอย่างที่มีสภาวะแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1:5 มีปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 10:5 และ 21:0 ส่วนปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่วัดได้จากภายในบรรจุภัณฑ์เป็นค่าที่เกิดจากปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่ผักใช้ในกระบวนการหายใจรวมกับปริมาณของออกซิเจนที่ซึมเข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ (รูปที่ 4.14-4.17) จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของแก๊สเริ่มต้นที่เติมเข้าไปในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของแก๊สที่เหลืออยู่ในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากอัตราส่วนแก๊สเริ่มต้นภายในบรรจุภัณฑ์นั้นมีผลต่ออัตราการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ จึงส่งผลให้สัดส่วนของแก๊สที่เหลืออยู่ในบรรจุภัณฑ์มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยเห็นได้จากการค่าอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด พบว่า อัตราการหายใจมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา โดยสภาวะเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 21:0 มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญสถิติในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นเริ่มลดลง ซึ่งผลดังกล่าวนี้ใกล้เคียง และสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Kim, Lou, and Gross (2004) พบว่า ผักสลัดตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 25 วัน มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นเริ่มลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 25 วัน จากการศึกษา พบว่า กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาในสภาวะแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 1:5 มีอัตราการหายใจต่ำกว่าการเก็บรักษาในสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการเก็บรักษาผักตัดแต่งพร้อมบริโภคในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำร่วมกับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยลดการหายใจลงได้ (งานทิพย์, 2538; Jacxsens et al., 2003) และพบว่า อัตราการหายใจในสภาวะดังกล่าวนี้มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 16 ของการเก็บรักษากรีนโอ๊ค และวันที่ 12 ของการเก็บรักษาบัตเตอร์เฮด หากพืชเข้าสู่กระบวนการ Senescence หรือ กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobe respiration) ส่งผลให้ปริมาณการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobe respiration) ทั้ง ๆ ที่การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และจากผลการศึกษาอัตราการหายใจ พบว่า อัตราการใช้แก๊สออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 4.19-4.22 ซึ่งการวัดอัตราการหายใจสามารถวัดได้จากสารตั้งต้น (Substrate) ที่ถูกใช้ไป และผลผลิต (Product) ที่

ได้ โดยส่วนมากจะวัดอัตราการหายใจจากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจน (จริงแท้, 2549; Kays, 1991)

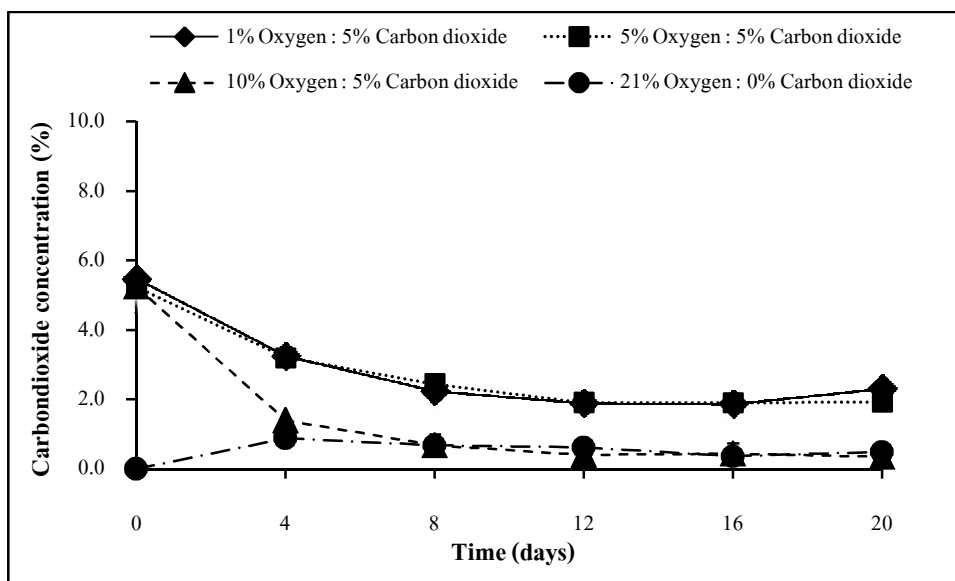
การวัดอัตราการหายใจในการศึกษาครั้งนี้ ได้วัดทั้งอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการใช้ออกซิเจน เมื่อพิจารณาอัตราการหายใจที่ได้จากทั้งสองค่าดังกล่าว พบว่า อัตราการใช้แก๊สออกซิเจนจะเห็นค่าที่ชัดเจนมากกว่าการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจากรายงานการศึกษา และวิจัยส่วนใหญ่มักตรวจวัด และรายงานผลเฉพาะการวัดอัตราการหายใจจากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น จากการวัดอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค พบว่า การเก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 มีอัตราการหายใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือการเก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 5:5 10:5 และ 21:0 ตามลำดับ และจากการวัดอัตราการหายใจของบัตเตอร์เฮด พบว่า อัตราการหายใจของบัตเตอร์เฮดที่เก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 มีอัตราการหายใจต่ำสุด และค่าดังกล่าวใกล้เคียงกันมากกับสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10:5 เมื่อพิจารณาจากอัตราการหายใจจากการใช้ออกซิเจน ทำให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนมากขึ้น โดยสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 มีอัตราการหายใจต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5:5 และ 10:5 และ 21:0 ตามลำดับ และผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับอายุการเก็บรักษาผัก เมื่อผักเข้าสู่ระยะการเสื่อมเสียอัตราการหายใจของผักค่อย ๆ ลดลง ซึ่งเห็นชัดเจนในผลวัดอัตราการหายใจจากการใช้ออกซิเจน (รูปที่ 4.19 และ 4.21) และจากการทดลอง พบว่า อัตราการหายใจมีค่าลดลงต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษากรีนโอ๊คเป็นเวลา 8 วัน และบัตเตอร์เฮดเป็นเวลา 16 วัน และจากการทดลอง พบว่า อัตราการหายใจของผักสามารถบ่งชี้อายุการเก็บรักษาได้ โดยอัตราการหายใจจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับต่ำสุดเมื่อผักเสื่อมสภาพ



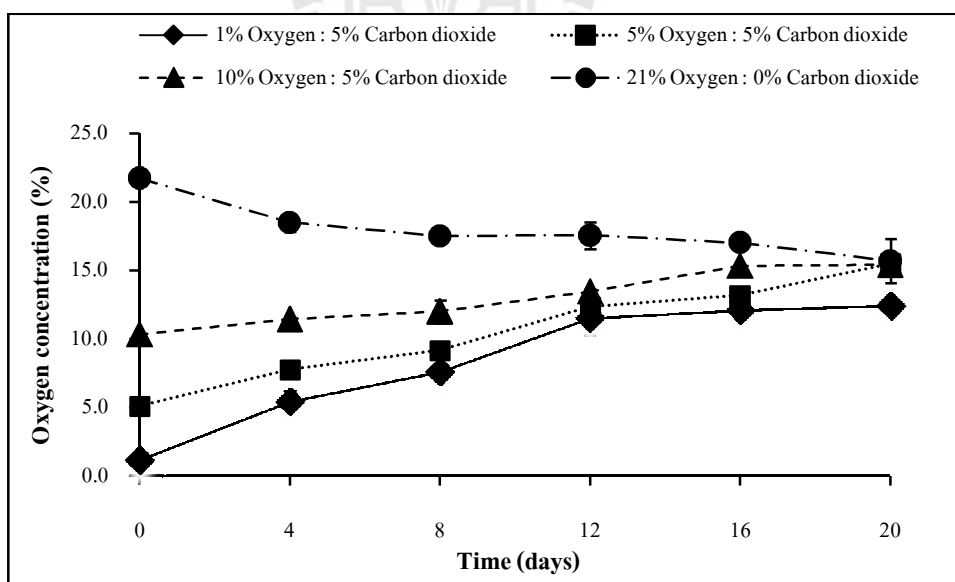
รูปที่ 4.14 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



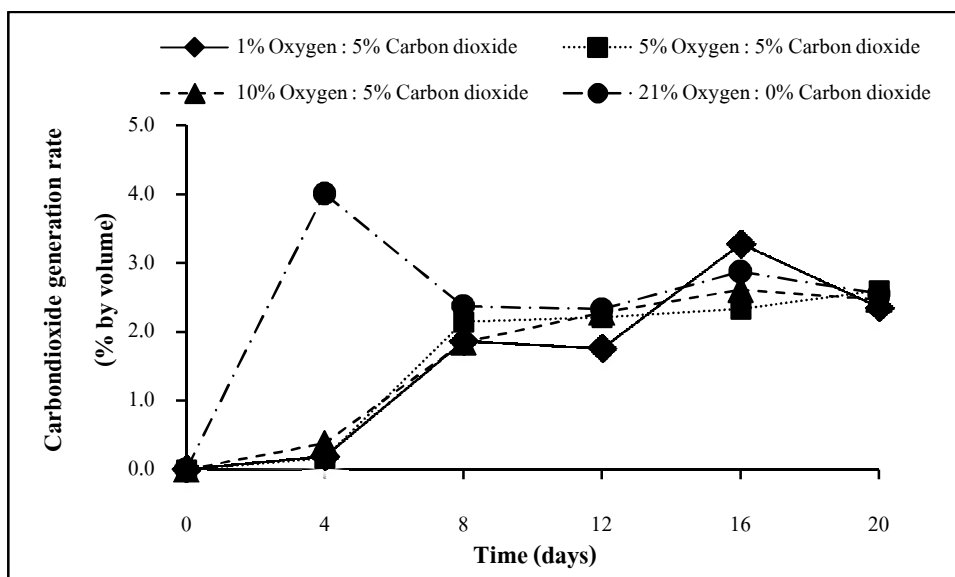
รูปที่ 4.15 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



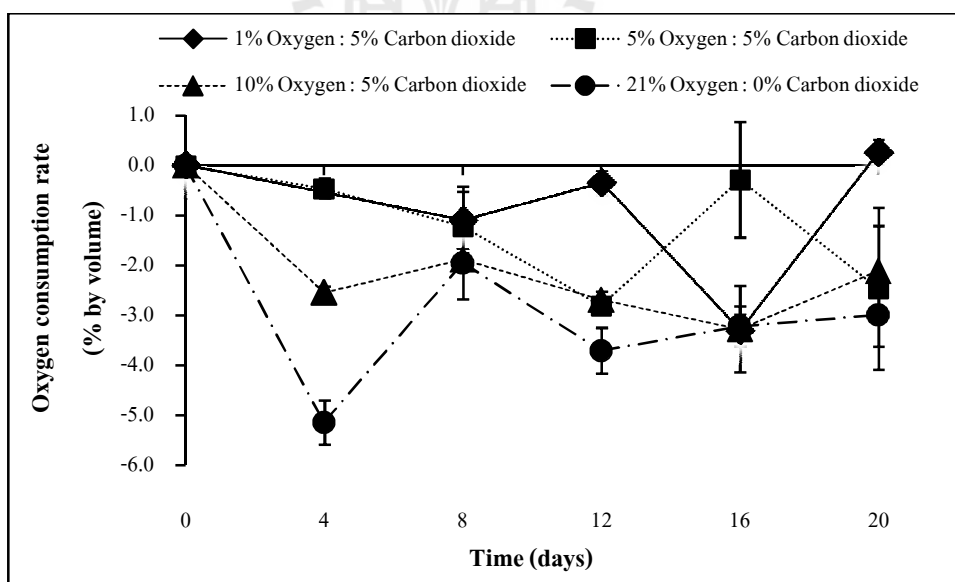
รูปที่ 4.16 ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่เสด
ตัดแต่งพร้อมบริโภคนบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



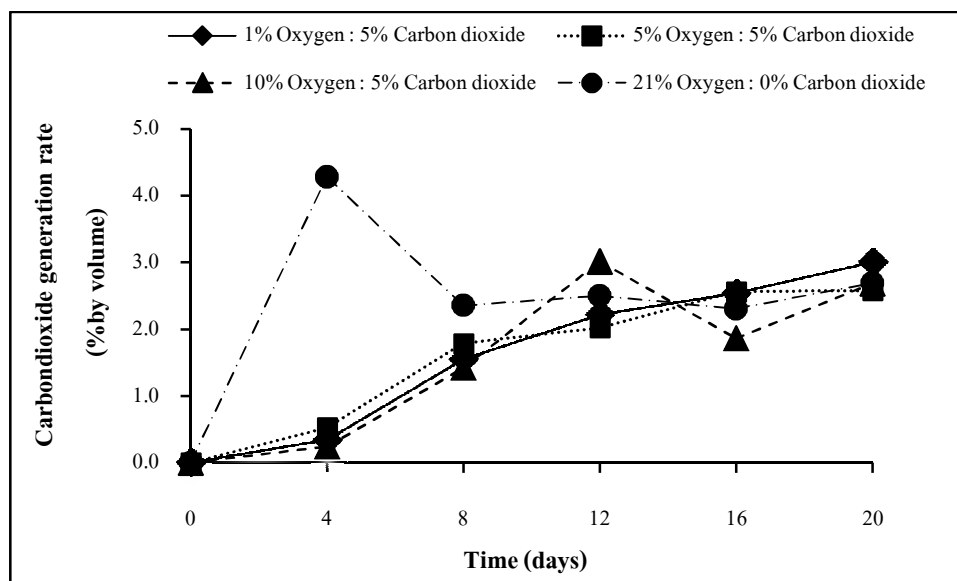
รูปที่ 4.17 ผลการวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่เสด
ตัดแต่งพร้อมบริโภคนบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
เป็นระยะเวลา 20 วัน



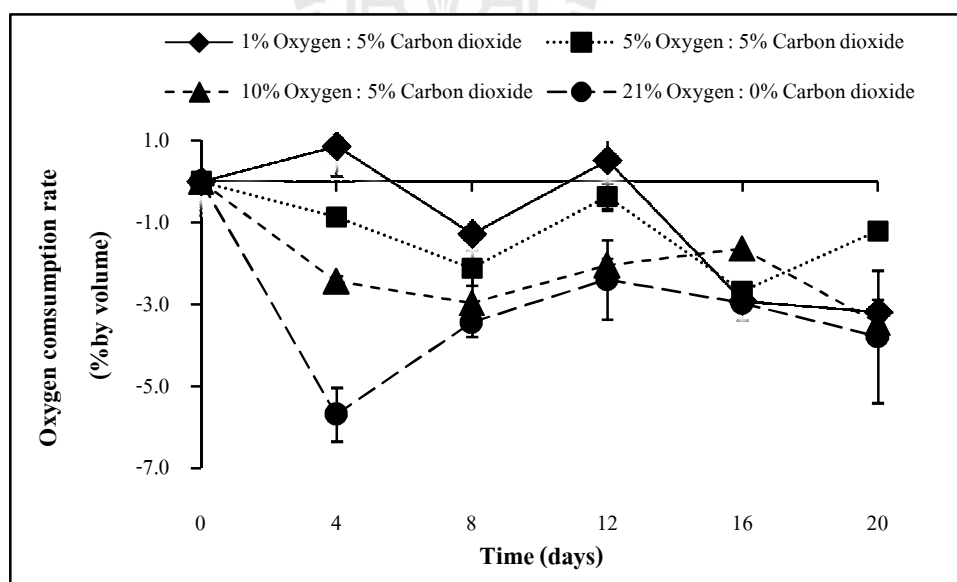
รูปที่ 4.18 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครวดด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.19 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครวดด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.20 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) ของแบตเตอรี่เสดัดค แต่งพร้อมบริโภคนบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.21 ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของแบตเตอรี่เสดัดค แต่งพร้อมบริโภคนบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

4.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้

กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์คัตแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า การปรับแต่งบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 สามารถเก็บรักษากรีนโอ๊คได้เป็นเวลา 8 วัน และเก็บรักษาบัตเตอร์คัตได้เป็นเวลา 16 วัน ดังนั้นจึงได้ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่าง ๆ ที่เก็บรักษาในสภาวะดังกล่าวนี้ หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผัก เพื่อหาว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่จะได้มาซึ่งข้อสรุปที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาสมการการคำนวณในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศได้

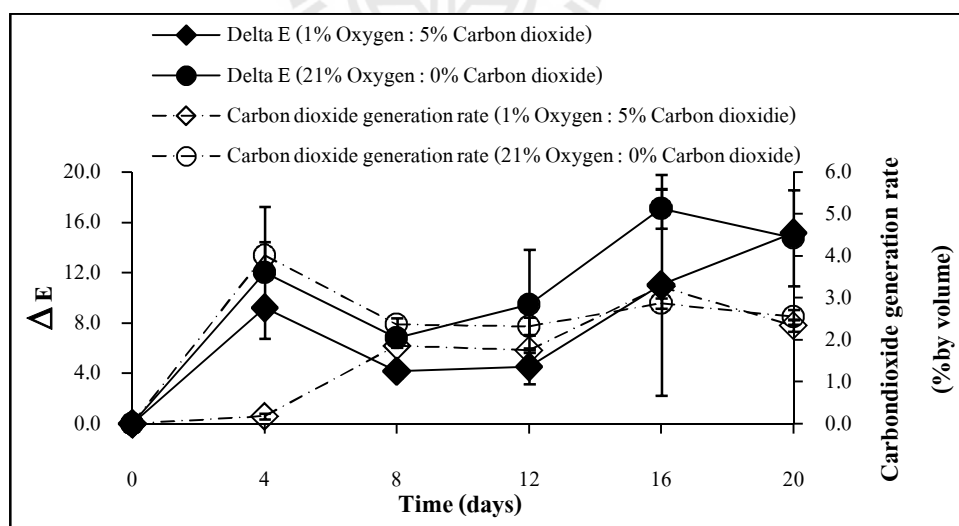
4.3.1 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับค่าสีของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแตกต่างทั้งหมดกับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์คัตแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า ค่าของ ΔE เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และสอดคล้องกับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจนกับค่าของ ΔE พบว่า กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์คัตเก็บในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ΔE กับอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (รูปที่ 4.22-4.25)

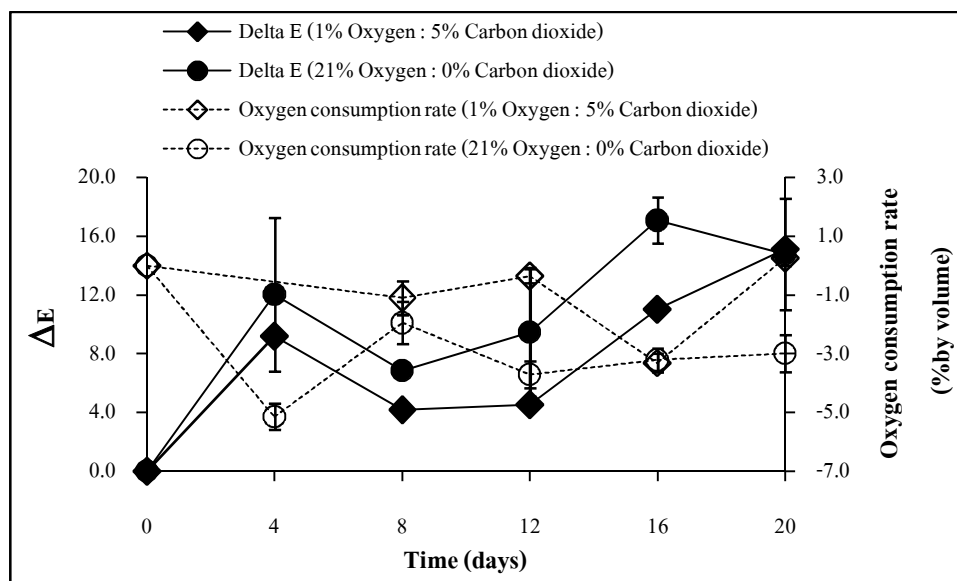
จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์คัต พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวนี้คล้ายกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดกับอัตราการหายใจ เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle พบว่า ค่า Hue angle เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น และพบว่า กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์คัตเก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 มีแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการใช้ออกซิเจนน้อย

กว่าการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 21:0 (รูปที่ 4.26-4.29) จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ในกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากสองสภาวะดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นลักษณะความสัมพันธ์ที่แปรตามกัน

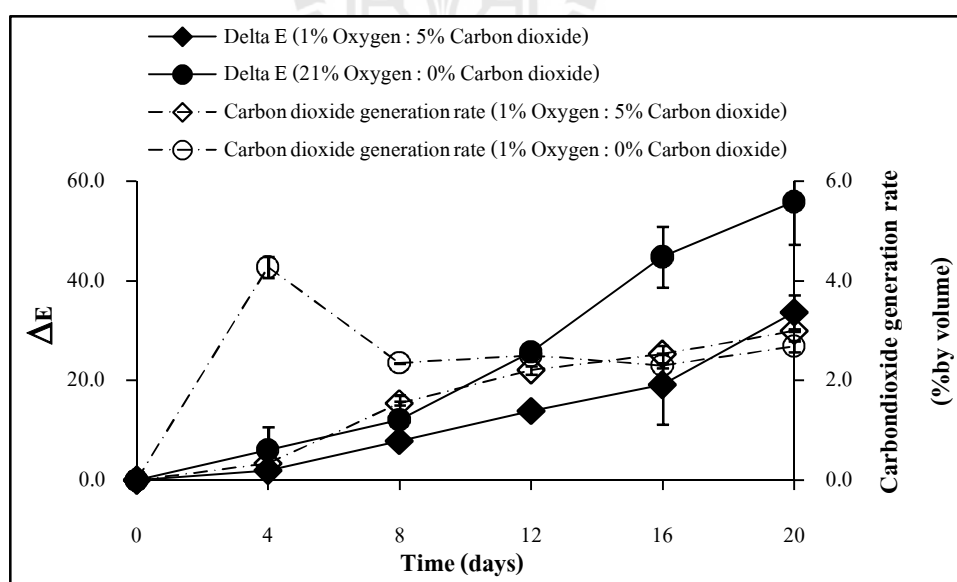
จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจกับค่า ΔE และ Hue angle ของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดกับ ค่า Hue angle มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจากการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เห็นได้ชัดเจนว่าการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมด และค่า Hue angle เป็นลักษณะความสัมพันธ์เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ซึ่งค่าสีที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับอัตราการหายใจ โดยเฉพาะอัตราการใช้ออกซิเจน และค่าสีที่เปลี่ยนแปลงสามารถหาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงได้ โดยมีความเหมาะสมกับการหาเปลี่ยนแปลงสีตามเวลา ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่เด่นชัด และสอดคล้องกับอัตราการหายใจ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจกับของค่าสีที่แตกต่างทั้งหมด และค่า Hue angle จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสมการการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศได้



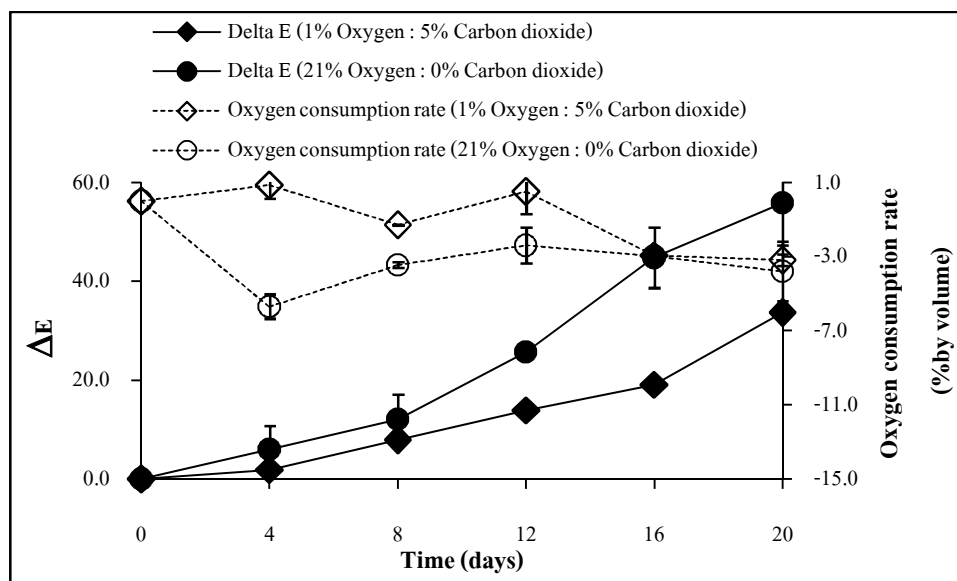
รูปที่ 4.22 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกบบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



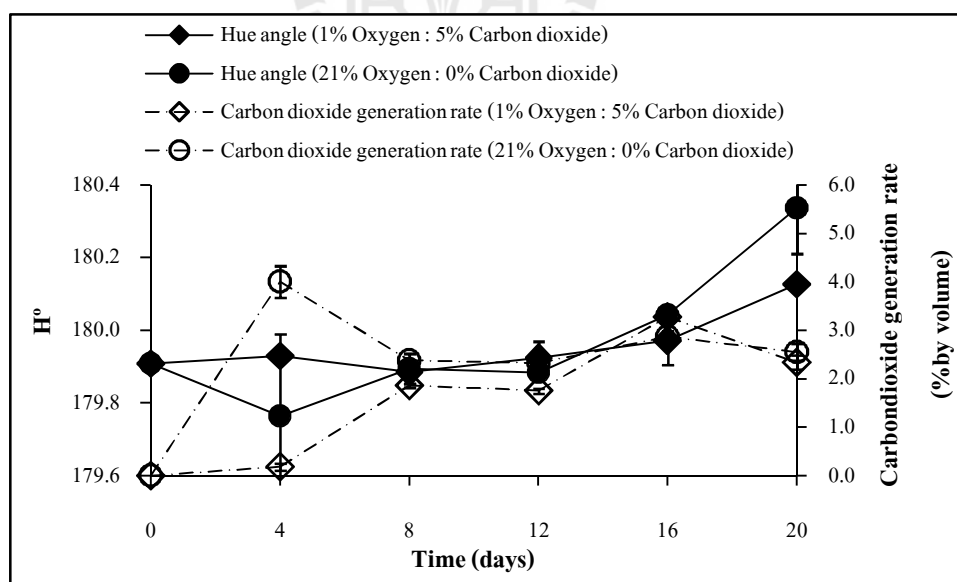
รูปที่ 4.23 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครูด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



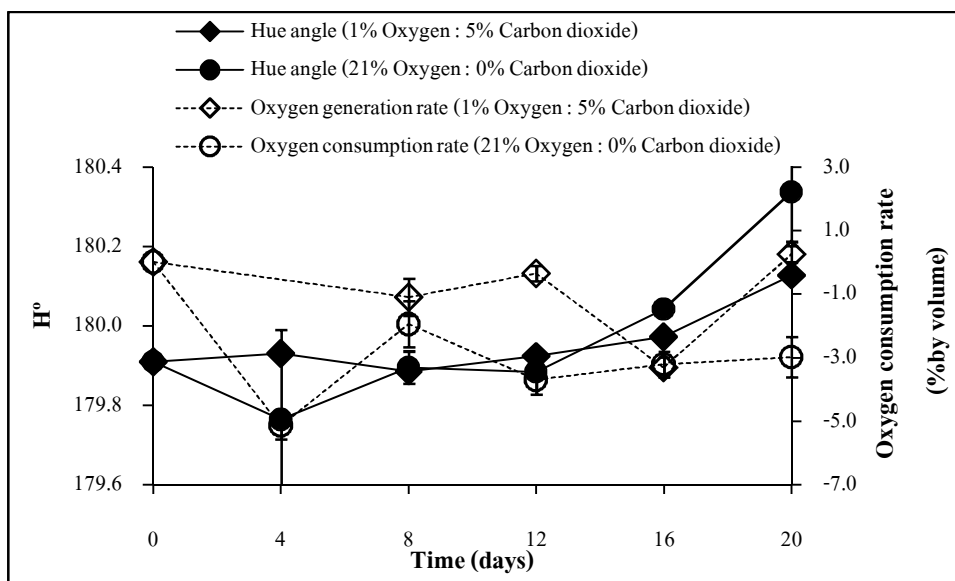
รูปที่ 4.24 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครูด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



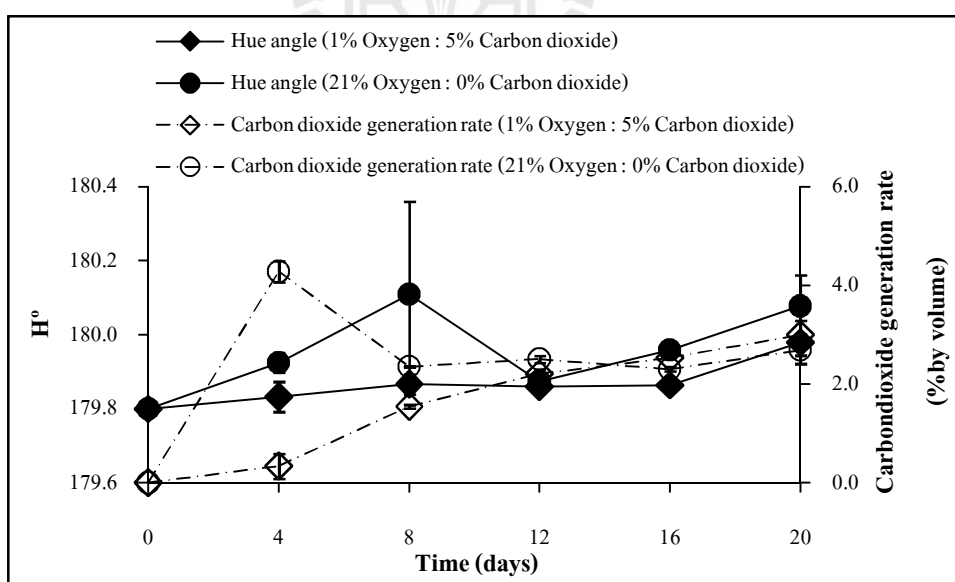
รูปที่ 4.25 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ (อัตราการใช้ ออกซิเจน) กับค่าสีที่แตกต่างกันทั้งหมดของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครูด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



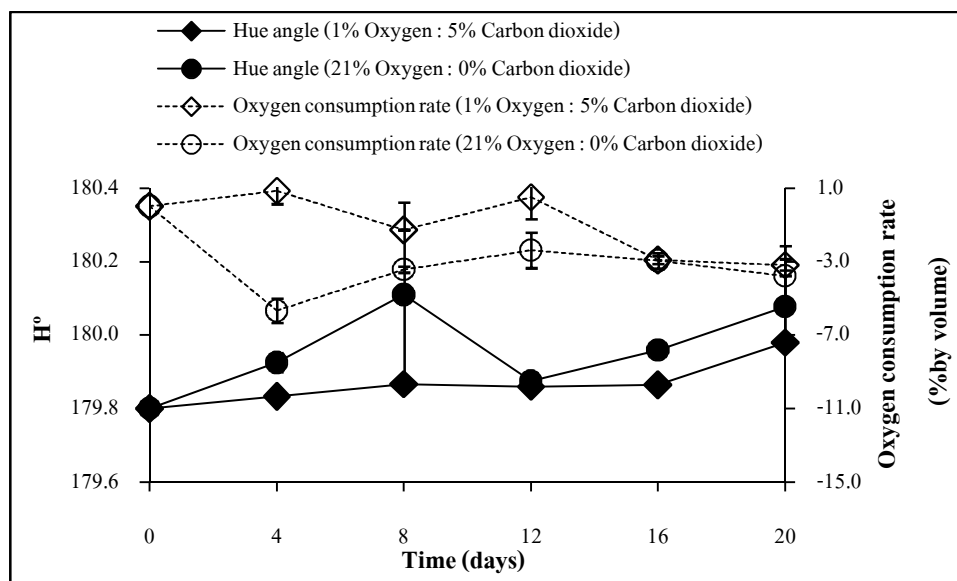
รูปที่ 4.26 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครูด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



รูปที่ 4.27 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20



รูปที่ 4.28 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับค่า Hue angle ของบัตเตอร์เฮดแต่งพร้อมบริโภครรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20

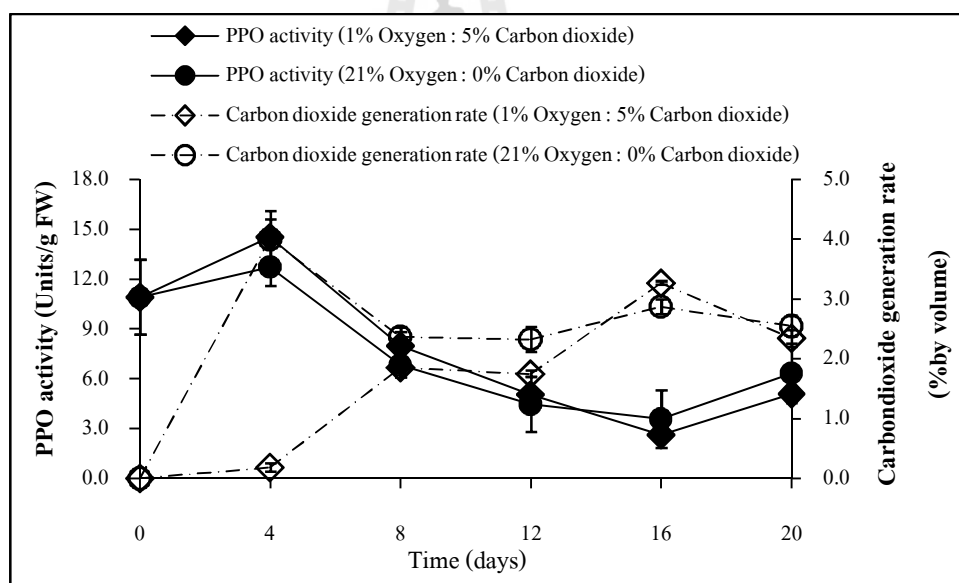


รูปที่ 4.29 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับค่า Hue angle ของแบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20

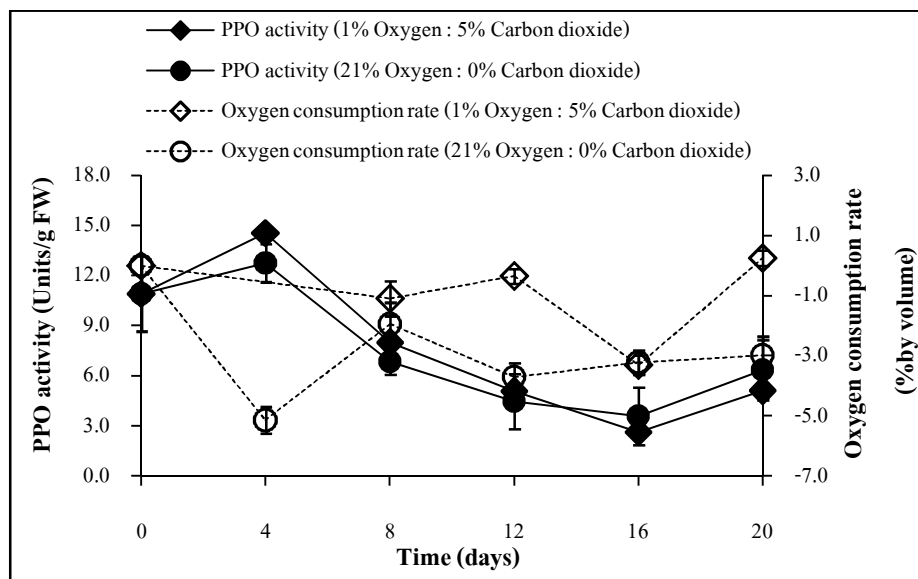
4.3.2 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคนภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ PPO กับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริโภคนภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้ความชื้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า เมื่ออัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ PPO กลับมีอัตราลดลง (รูปที่ 4.30-4.33) และเมื่อพิจารณาอัตราการใช้ออกซิเจนกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO พบว่า การเก็บรักษากรีนโอ๊คในสภาวะความชื้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 21:0 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าการเก็บรักษาในสภาวะความชื้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 แต่กลับมีอัตราการหายใจที่สูงกว่า ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากอัตราการใช้ออกซิเจน (รูปที่ 4.31) ส่วนการเก็บรักษาแบตเตอรี่เสดัดแต่งในสภาวะความชื้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 และ 21:0 พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีลักษณะเช่นเดียวกับกรีนโอ๊ค (รูปที่ 4.33) และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO พบว่า กิจกรรมของ

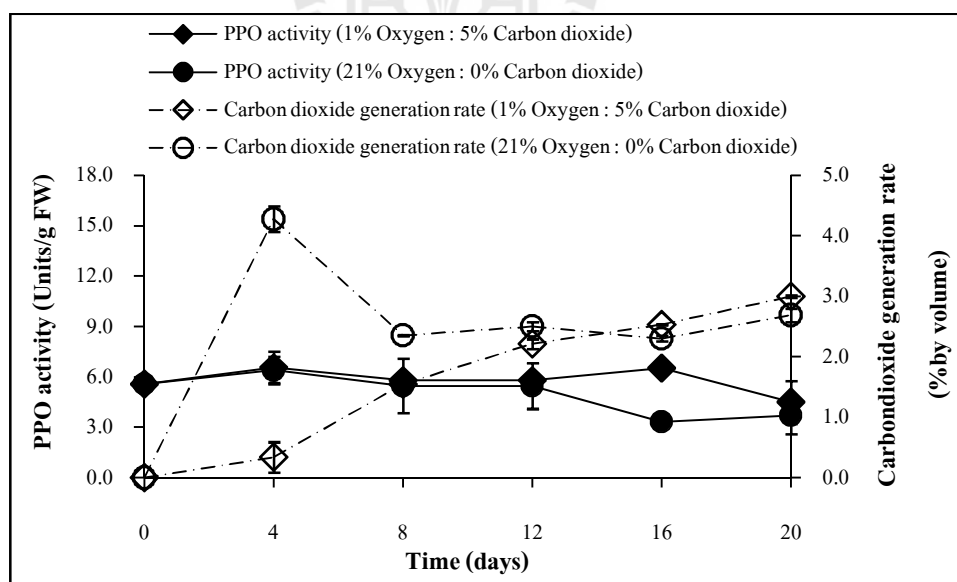
เอนไซม์ PPO กับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊คที่เก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาอัตราการหายใจ และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO พบว่า ค่าดังกล่าวมีความแปรปรวนสูงมาก เห็นได้จากอัตราการใช้ออกซิเจน โดยอัตราการใช้ออกซิเจนมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ผักเสื่อมสภาพ หลังจากนั้นอัตราการใช้ออกซิเจนก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีค่าสูงขึ้นในช่วงแรก และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นจากผลการทดลองเห็นได้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เพื่อพัฒนาการสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจ ทั้งนี้การตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง หากต้องการติดตามเพื่อหาความสัมพันธ์ในระดับชั่วโมงจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมาก



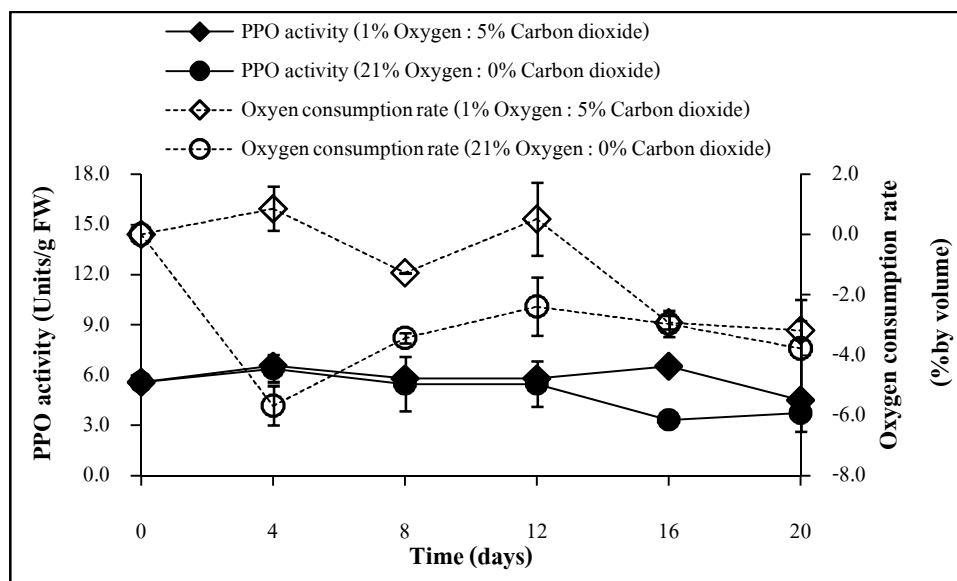
รูปที่ 4.30 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.31 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.32 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

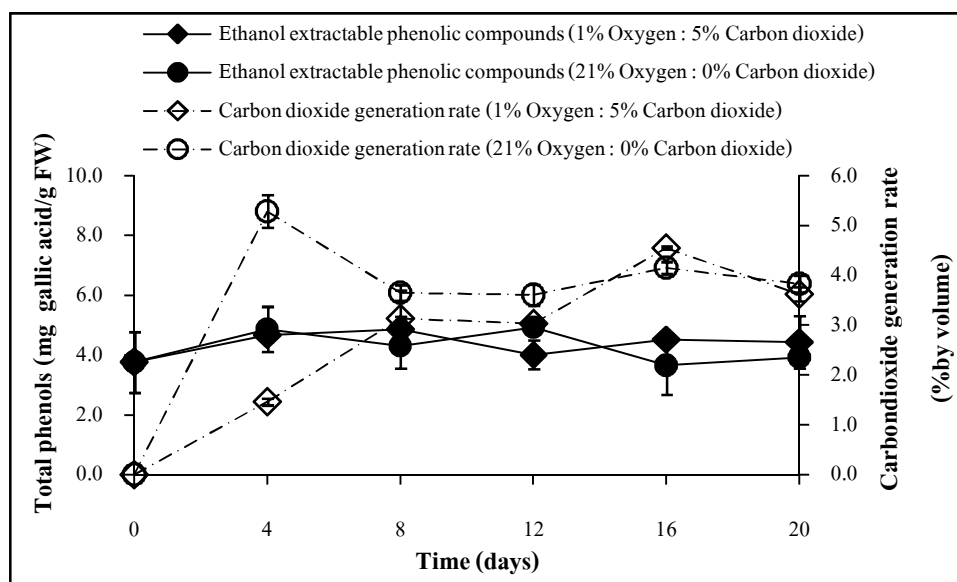


รูปที่ 4.33 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

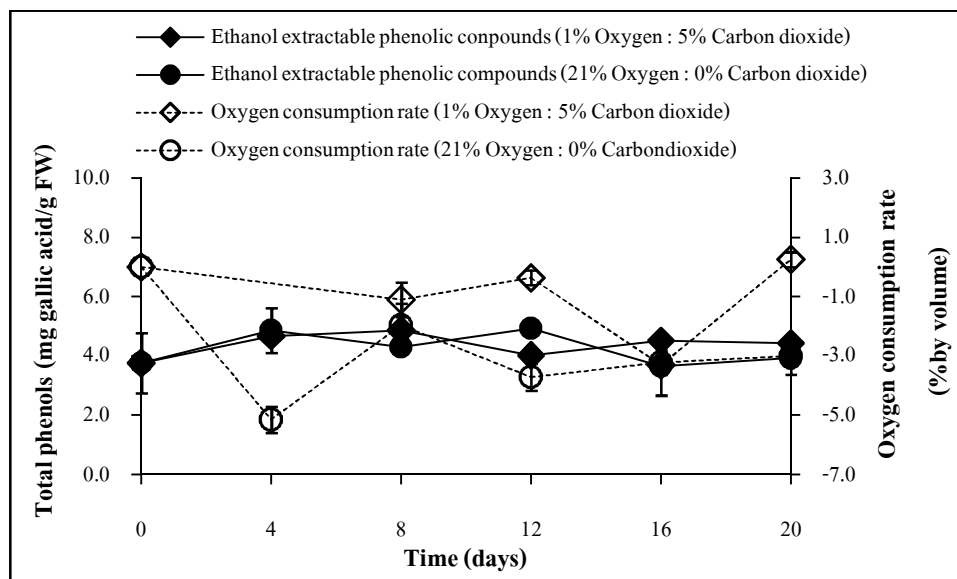
4.3.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลของผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลกับอัตราการหายใจของกรีน โอ๊ค และแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 และ 21:0 เก็บอุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่า อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลตลอดอายุการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4.34-4.37) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจคาร์บอนไดออกไซด์กับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีน โอ๊ค และแบตเตอรี่สดไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีน โอ๊ค และแบตเตอรี่สดแสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลไม่เหมาะที่

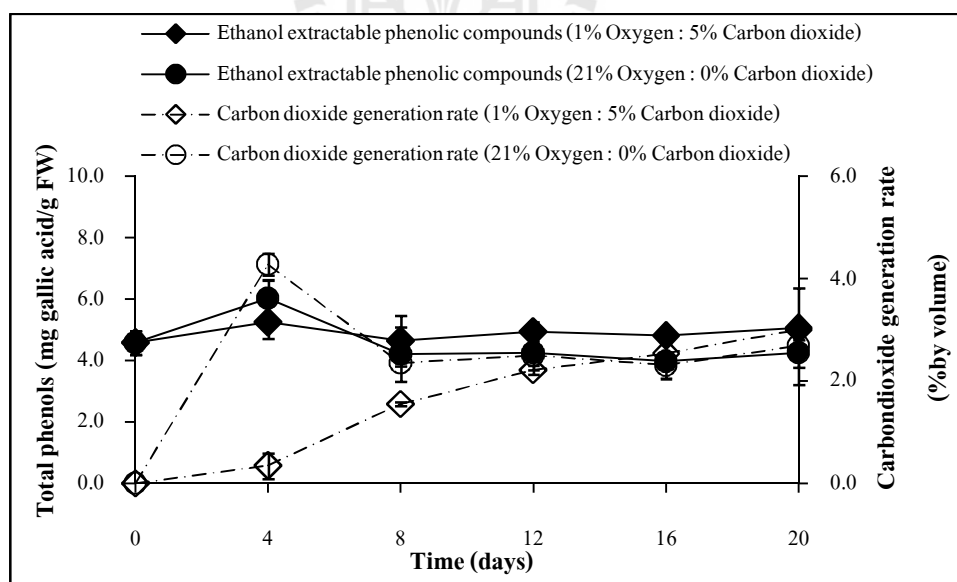
จะนำไปใช้เป็นดัชนีของคุณภาพที่จะใช้ในการสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจ



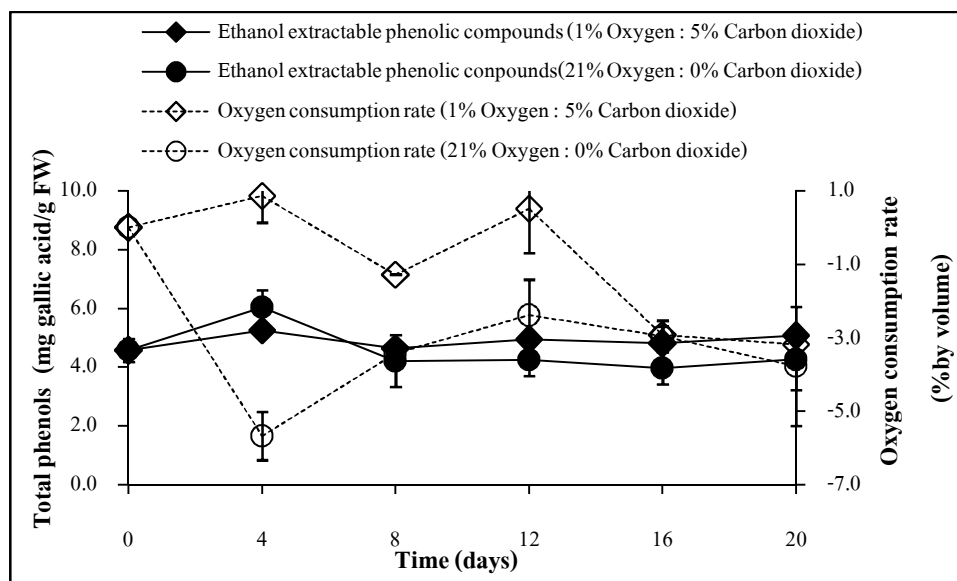
รูปที่ 4.34 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครวดด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.35 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.36 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเออร์แฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

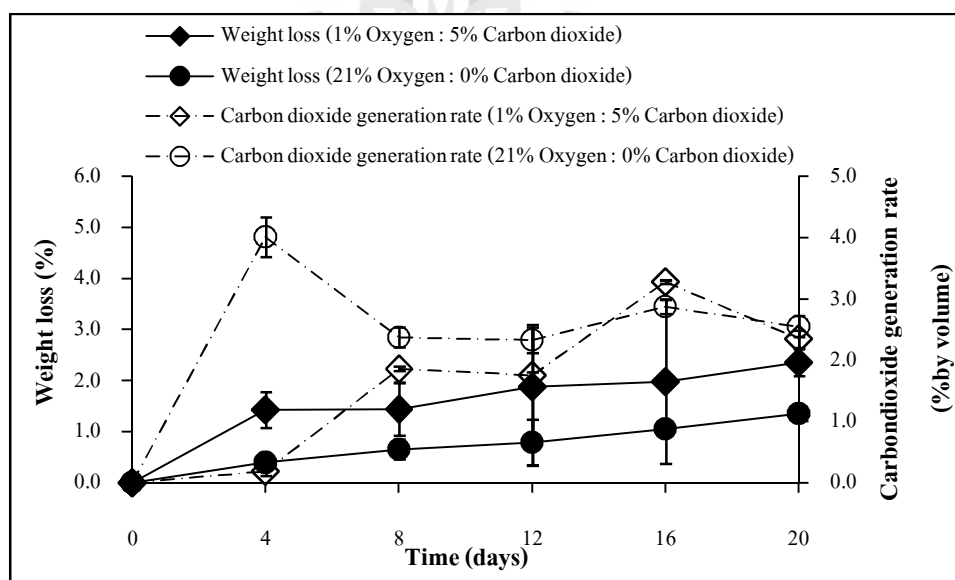


รูปที่ 4.37 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครูจัดด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

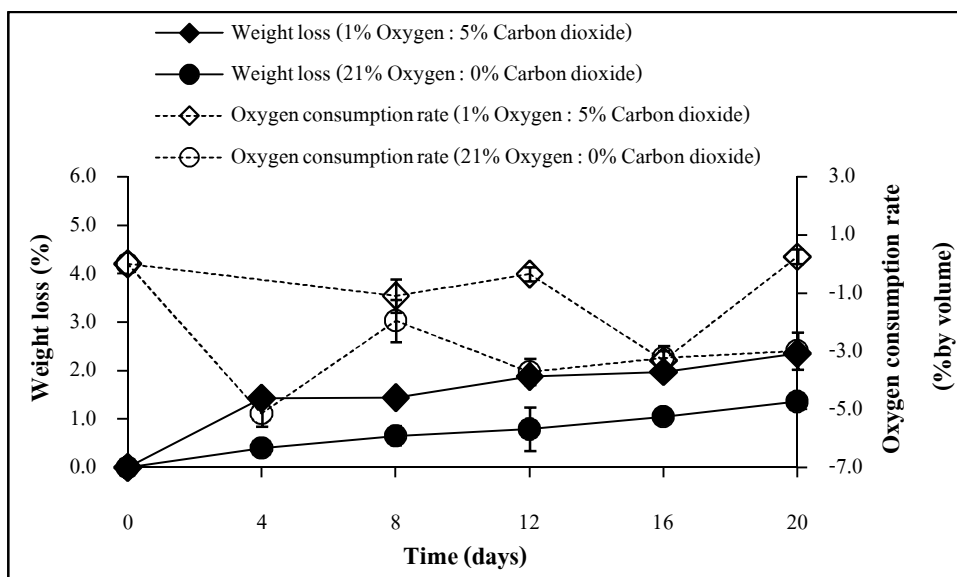
4.3.4 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 1:5 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่าอัตราการหายใจมีความสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพิจารณาจากอัตราการผลิตรับบอนไดออกไซด์ และการใช้ออกซิเจน (รูปที่ 4.38-4.41) ซึ่งการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมี เมื่อตั้งต้นที่ถูกใช้ไปและปลดปล่อยผลผลิตออกมาอัน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ พลังงาน ดังนั้นจึงเห็นความสัมพันธ์ดังกล่าวเกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาอัตราการใช้ออกซิเจนกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักพบว่า กรีนโอ๊คที่เก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 1:5 มีอัตราการใช้ออกซิเจนที่ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่สภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 21:0 แต่อัตราการสูญเสียน้ำหนักกลับเพิ่มขึ้นกลับเป็นไปทิศทางตรงข้ามคือ สภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 1:5 มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่สภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อ

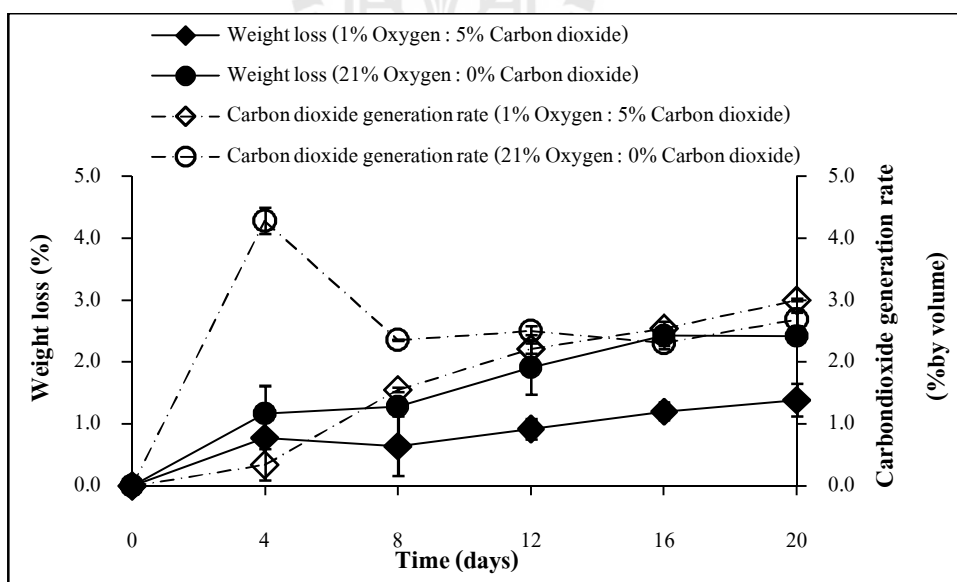
คาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 21:0 (รูปที่ 4.39) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการสูญเสียของน้ำหนักของพืชนอกจากจะเกิดจากกระบวนการหายใจแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดแผลที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริโกล พบว่าแบตเตอรี่สดมีอัตราการใช้ออกซิเจนน้อยสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยด้วย โดยในตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 1:5 มีอัตราการใช้ออกซิเจน และอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาวะความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร้อยละ 21:0 (รูปที่ 4.41) ดังนั้นจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักเห็นได้ว่า กรีน โอ๊คมีอัตราการหายใจไม่สอดคล้องกับอัตราการสูญเสียน้ำหนัก แต่ในแบตเตอรี่สดกลับพบว่าอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการสูญเสียน้ำหนักอาจเป็นคุณภาพที่ไม่เหมาะสมนำไปใช้ในการพัฒนาออกแบบ เพื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงคำนวณระหว่างการผลิตเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่ออัตราการหายใจของผักสลัดที่จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานด้านออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสลัดได้



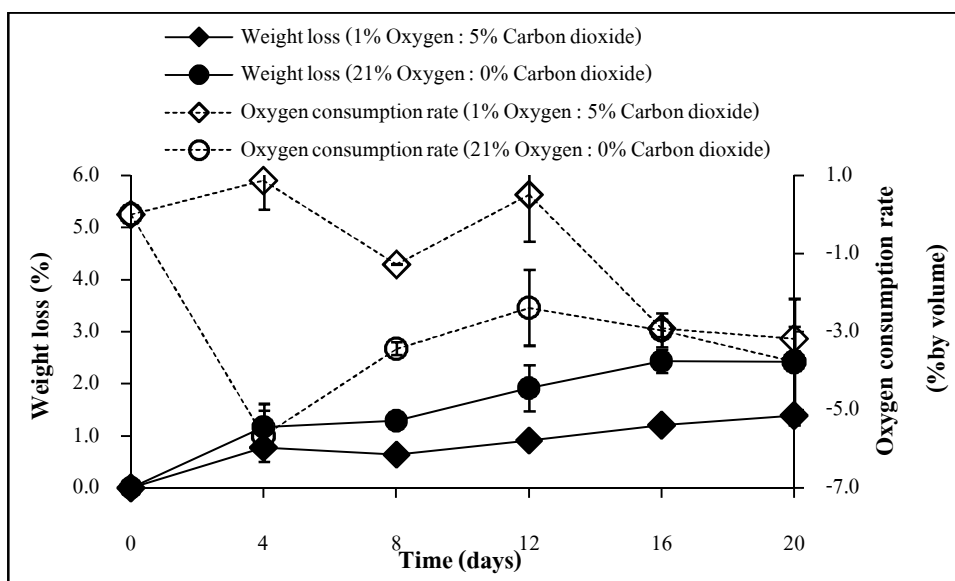
รูปที่ 4.38 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกลบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.39 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคร่างกายบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.40 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคร่างกายบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



รูปที่ 4.41 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของแบตเตอรี่เฮดคัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน



บทที่ 5

บทสรุป

กรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริ โภคเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 5:5 10:5 และ 21:0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 20 วัน วัดค่าการเปลี่ยนแปลงสี อัตราการสูญเสียน้ำหนัก กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล และวัดอัตราการหายใจ จากศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ พบว่า สภาพการปรับแต่งบรรยากาศ และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าสี กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และอัตราการสูญเสียน้ำหนักในแบตเตอรี่สด และกรีน โอ๊ค และพบว่าการเก็บรักษาในสถานะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 8 วัน และสามารถเก็บรักษาแบตเตอรี่สดได้เป็นระยะเวลา 16 หลังจากนั้นเริ่มมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นบริเวณก้านใบ และรอยตัด จากการวัดอัตราการหายใจ พบว่า สภาพการปรับแต่งบรรยากาศมีผลต่ออัตราการหายใจ และอัตราการหายใจมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บรักษา และพบว่า กรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดที่เก็บรักษาในสถานะความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1:5 มีอัตราการหายใจต่ำสุด เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของกรีนโอ๊ค และแบตเตอรี่สดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะดังกล่าว พบว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี กับอัตราการหายใจมีสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีกับอัตราการหายใจจึงเหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาเป็นความสัมพันธ์เชิงคำนวณ เพื่อใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาผักสลัดที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศได้

รายการอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการส่งออก. (2546). การจัดการหลังเก็บเกี่ยวผักผลไม้สดเพื่อการแปรรูป. [ออนไลน์].
ได้จาก: www.depthai.go.th
- งามทิพย์ ภูวโรดม. (2538). ก๊าซกับภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จริงแท้ ศิริพานิช. (2550). ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บริษัท ทรีพ้อยันต์ เชนเนอรัลฟู้ด จำกัด. (2554). สรรพคุณของผักกาดหอม (ผักสลัด) [ออนไลน์].
ได้จาก <http://www.sappe.com/sappe/beautylounge/beautylounge20.html>
- บริษัท ทานตะวันอุตสาหกรรม จำกัด. (2554). Active breathable Packaging (MAP) [ออนไลน์].
ได้จาก <http://www.thantawan.com/ourproducts.php#GeneralBagsGloves>
- ร้านอาหารมายโฮม. (2554). แนะนำผักในฟาร์ม ผักสด ๆ ในฟาร์มมายโฮม [ออนไลน์]. ได้จาก
<http://www.myhomeveg.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=331796>
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. (2554). สาเหตุที่ผักเสื่อมคุณภาพลงภายหลังการเก็บเกี่ยว [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.higreenfarm.com/hydrowork/index.php?option=com_content&task=view&id=142
- อศิรา เฟื่องฟูหาดี และคนอื่น ๆ (2549). การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37(5 พิเศษ): 62-65.
- Altunkaya, A. and Gokmem, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). **Journal of Food Chemistry**. 107: 1173-1179.
- Altunkara, A., Becker, E. M., Gokmen, V. and Skibsted, L. (2009) Antioxidant activity of lettuce Extract (*Lactuca sativa*) and synergism with added phenolic antioxidants. **Journal of Food Chemistry**. 115: 163-168.

- Alzamora, S. M., Lozep-Malo, A. and Tapia, M. S. (2000). **Minimally Processed Fruits and Vegetable**. Maryland: An Aspen.
- Angos, I., Viseda, P. and Fernandez, T. (2008). Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 48: 422-430.
- Ballantyne, A., Strak, R., and Selman, L. D. (1988). Modified atmosphere packaging of shredded lettuce. **Journal of Food Science and Technology**. 23: 267-274.
- Beaudry, R. M., Cameron, A. C., Shirazi, A., and Dostal-Lange, D. L. (1992). Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂. **Journal of American Society for Horticultural Science**. 117: 436-441.
- Bramen, A.L., Michael, D.P., Seppo, S. and John, H.T. (1996). **Food Additive**. Washington, D. C.: American Chemical Society.
- Cameron, A. C., Boylan-Pett, W., and Lee, J. (1989). Design of modified atmosphere packaging systems: modeling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits. **Journal of Food Science**. 54: 1413-1416.
- Degl'Innocenti, D. E., Guidi, L., Pardossi, A., and Tognoni, F. (2005). Biochemical Study of Leaf Browning in minimally processed Leaves of Lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. *Acephala*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 9980-9984.
- Degl'Innocenti, D. E., Pardossi, A., Tognoni, F., and Guidi, L. (2007). Physiological basis of sensitivity of enzymatic browning in lettuce escarole and rocket salad when stored as fresh-cut produce. **Journal of Food Chemistry**. 104: 209-215.
- Escalona, V. H., Verlinden, B. E., Geysen, S., and Nicolaï, B. M. (2006). Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 39(1): 48-55.
- Farber, J.N., et al. (2003). Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fresh-Cut Produce. **International Journal of Food Microbiology**. 2: 142-160.

- Ferrer, M. A., Gómez-Tena, M., Pedreño, M. A. and Barceló, A. R. (1996). Effects of ethrel on peroxidase of iceberg lettuce leaf tissue. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 7(4): 301-307.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., and Brecht, J.K. (2002). Modeling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**. 52: 99–119.
- Fukumoto, L. R., Toivonen, P. M. A., and Delaquis, P. J. (2002). Effect of Wash Water Temperature and Chlorination on Phenolic Metabolism and Browning of Stored Iceberg Lettuce Photosynthetic and Vascular Tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50(16): 4503-4511.
- Gawlik-Dziki, U., Zlotek, U. and Swieca, M. (2008). Characterization of polyphenol oxidase from butter lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) **Food Chemistry**. 107: 139-125.
- Gong, S., and Corey, K. A. (1994). Predicting steady state oxygen concentrations in modified atmosphere packages of tomatoes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 119: 546– 550.
- Hertog, M. L. A. T. M., Nicholson, S. E. and Whitmore, K. (2003). The effect of modified atmospheres on the rate of quality change in “Hass” avocado. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 29: 41-53.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., and Debevere, J. (1999). Validation of a systematic approach to design equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut produce. **Journal of Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**. 32: 425–432.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Ragaert, P., Vanneste, E., and Debevere, J. (2003). Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. **International Journal of Food Microbiology**. 83(3): 263-280.
- Kays, S. J. (1991). **Postharvest physiology of perishable plant products**. Neyork: Van Nostrand Reinhold.
- Kim, J. G., Luo, Y. and Gross, K. C. (2004). Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 32: 99-107.

- Lakakul, R., Beaudry, R. M., and Hernandez, R. J. (1999). Modeling respiration of apple slices in modified-atmosphere packages. **Journal of Food Science**. 64: 105–110.
- Lee, D. S., Hagggar, P. E., Lee, J. and Yam, K. L. (1991). Model for fresh produce respiration in mospheres based on principles of enzyme kinetics. **Journal of Food Science**. 56 (6): 1580-1585.
- López-Gálvez, G., Saltveit, M. and Cantwell, M. (1996). Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 9: 223-233
- Makino, Y., Iwasaki, K., and Hirata, T. (1996). Oxygen consumption model for fresh produce on the basis of adsorption theory. **Journal of Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. 39: 1067–1073.
- Peiser, G., López-Gálvez, G., Cantwell, M. and Saltveit, M. E. (1998). Phenylalanine ammonia lyase inhibitors control browning of cut lettuce. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 14(2): 171-177.
- Peppelenbos, H. W., and Leven, J. (1996). Evaluation of four types of inhibition for modeling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption fruits and vegetables. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 7: 27–40.
- Pereyra, L., Roura, S. I. and Valle, C. D. (2005). Phenylalanine ammonia lyase activity in minimally processed Romaine lettuce. **Journal of Swiss Society of Food Science and Technology**. 38: 67-72.
- Pirovani, M. E., Piagentini, A. M., Guemes, D. R. and Dipentima, J. H. (1997). Quality of minimally processed lettuce as influence by package and chemical treatment. **Journal of Food Quality**. 22: 475-484
- Roura, S. I., Moreira, M. D. R. and Velle, C. E. D. (2003). Shelf-life of fresh-like ready-to-eat diecd quash. **Journal of Food Quality**. 27: 91-101.
- Saltveit, M. E. (2004). Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the Accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut iceberg lettuce. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 34(1): 75-80.

- Smyth, A. B., Song, J., and Cameron, A. C. (1998). Modified atmosphere packaged cut iceberg lettuce: effect of temperature and O₂ partial pressure on respiration and quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46: 4556–4562.
- Tavarini, S., Degl’Innocenti, E., Pardossi, A. and Guidi, L. (2007). Biochemical aspect in two minimally processed lettuce upon storage. **Journal of Food Science and Technology**. 42: 214-219.
- Teixeira, G. H. A., Durigana, J. F., Alvesb, R. E. and O’Harec, T. J. (2007). Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. Fwang Tung). **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 44(1): 80–85.
- Toivonen, P. M. A. and Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture change in fresh-cut fruit and vegetables. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 48: 1–14.
- Uchino, T., Nei, D., Hu, W., and Sorour, H. (2004) . Development of a mathematical model for dependence of respiration rate of fresh produce on temperature and time. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 34: 285–293.
- Vhvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. **Journal of Trends in Food Science and Technology**. 7: 179-187.
- Watada, A. E. and Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. **Journal of Postharvest Biology and Technology**. 15: 201-205.
- Wills, R. B. H. , Lee, T. M., Graham, D., McGlasson, W. B. and Hall, E. G. (1981). **Postharvest an Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables**. An AVI book: New York.
- Zagory, D. (1995). **Piciples of modified-atmosphere and souse vide product packaging**. Pennsylvania: Technomic Lancaster.



ภาคผนวก

1. วิธีการคำนวณกิจกรรมเอนไซม์ PPO คัดแปลงจากวิธีการของ Degl'Innocenti et al. (2005)

จากการทดลองนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเวลา เพื่อหาค่าความชันของเส้นกราฟ แล้วนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามขั้นตอนดังนี้

ตัวอย่าง (ค่าความชันเท่ากับ 0.0021)

1.1. คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปต่อ 1 นาที

จากนิยาม 1 Unit เท่ากับ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไป 0.01 ต่อนาที

ใน 1 นาที ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไป 0.01 = 1 Unit

ใน 1 นาที ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไป 0.0021 = $(1 \text{ Unit} \times 0.0021)/0.01$
= 0.021 Units

1.2. คำนวณหาค่ากิจกรรม (Units/Crude enzyme 0.05 มิลลิลิตร) ของ Crude enzyme

ในสารละลาย Crude enzyme 0.05 ml มีกิจกรรม = 0.021 Units

ถ้าสารละลาย Crude enzyme 1.0 ml มีกิจกรรม = $(1 \times 0.21)/0.05$
= 4.2

1.3. คำนวณหาปริมาณ (Units/ml) ของการสกัดสารละลายทั้งหมดที่ใช้ทำปฏิกิริยา

ในการทดลองใช้สารละลาย 12 ml มีกิจกรรม = 4.2×12
= 50.4

1.4. คำนวณหาปริมาณ (Units/g FW) ของตัวอย่าง

ในการทดลองใช้ผัก 3.04 กรัม มีกิจกรรม = $50.4/3.04$
= 16.58

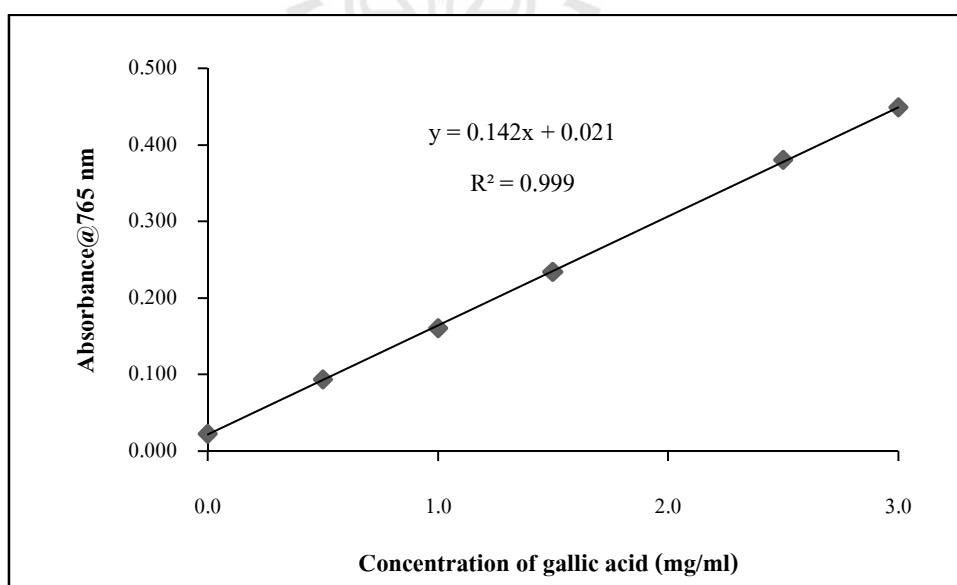
2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (total phenol content)

1. ทำ Gallic acid stock solution โดยละลาย Gallic acid 0.50 กรัมในเอทานอล 10 ml ปรับปริมาตร เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid ให้มีความเข้มข้น (mg/l) ต่างๆ ดังตารางที่ ก
3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น 100 μ l
4. เติม 5 ml 0.2 N Folin-Ciocalteu reagent
5. จับเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
6. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 ml
7. บ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร

9. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ ก การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid

สารละลายมาตรฐาน Gallic acid (mg/l)	ปริมาตร stock solution (ml)	ปริมาตรสุดท้าย (ml)
0 (blank)	0	100
50	1	100
100	2	100
150	3	100
200	4	100
250	5	100
300	6	100



รูปที่ ก กราฟมาตรฐาน Gallic acid

การคำนวณหาค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

จากสมการที่ได้จาก Standard curve คือ $y = 0.142x + 0.021$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } Y &= \text{ค่า Absorbance ที่ 765 นาโนเมตร} \\ X &= \text{ค่าความเข้มข้นของ Gallic acid} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง สารสกัดฟีนอลจากตัวอย่างเมื่อทำการทำปฏิกิริยาแล้วได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.141 นำค่าดังกล่าวแทนในสมการมาตรฐาน

$$0.141 = 0.142X + 0.021$$

$$X = 0.84 \text{ (mg gallic acid/ml)}$$

ในการทดลองค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เกินกว่ากราฟมาตรฐาน จึงทำการเจือจาง 2 เท่า

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } X &= 0.84 \times 2 \\ &= 1.68 \text{ (mg gallic acid/ml)} \end{aligned}$$

ในการทดลองใช้ปริมาณสารที่ทำปฏิกิริยาทั้งหมดเท่ากับ 9 ml

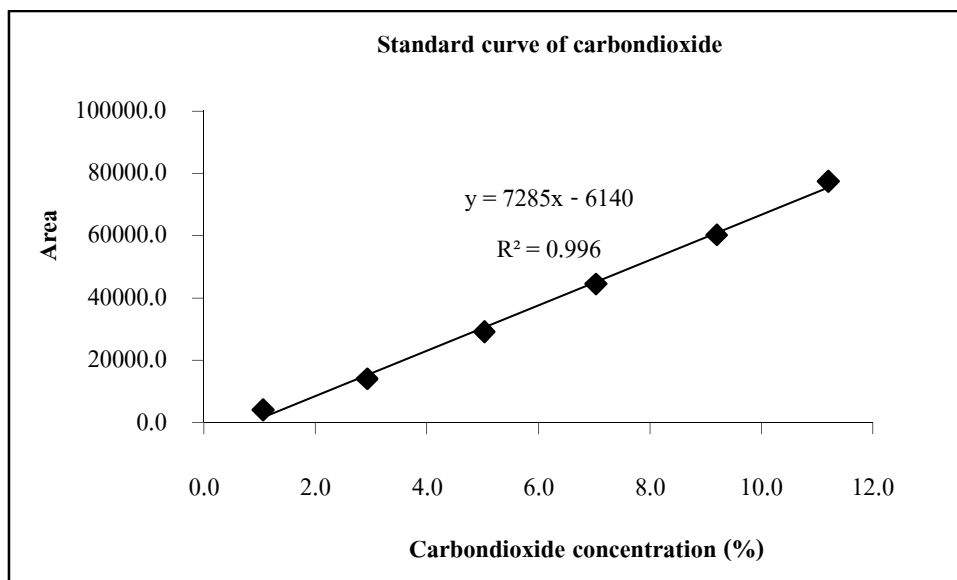
$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารประกอบฟีนอล} &= 1.68 \times 9 \\ &= 15.2 \text{ (mg gallic acid/ml)} \end{aligned}$$

คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลต่อน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

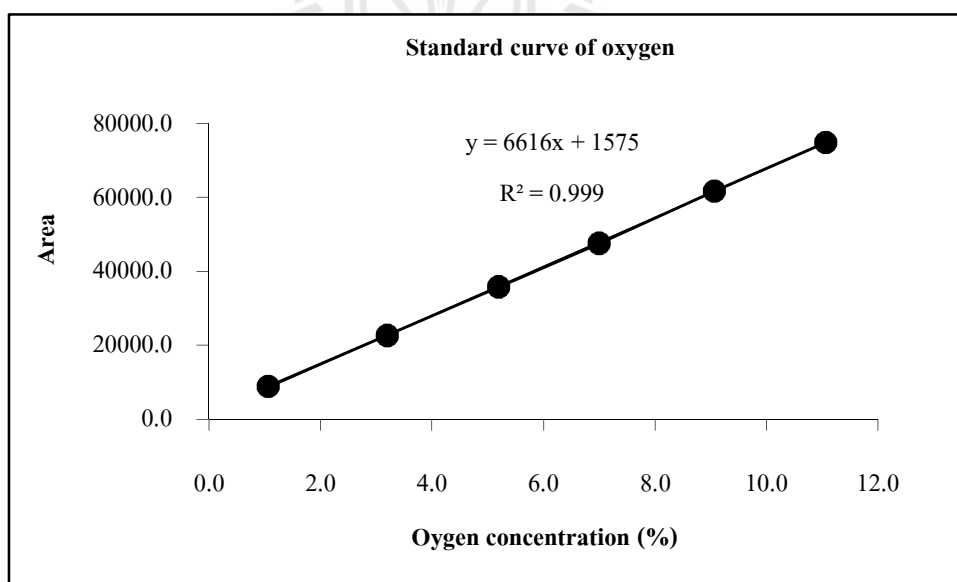
ในการทดลองใช้ผักตัวอย่างน้ำหนักผัก 3.35 กรัม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารประกอบฟีนอล} &= 15.2/3.35 \\ &= 4.51 \text{ (mg gallic acid/g FW)} \end{aligned}$$

3. กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน



รูปที่ ข กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ ค กราฟมาตรฐานของแก๊สและออกซิเจน

4. ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และอัตราการหายใจ

ตารางที่ ข ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างกันทั้งหมดของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครับจួយบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	ΔE			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{NS,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	9.19±0.27 ^{AB,ns}	8.31±1.61 ^{NS,ns}	7.19±7.12 ^{AB,ns}	12.02±5.24 ^{BC,ns}
8	4.16±0.52 ^{AB,ns}	4.32±2.69 ^{NS,ns}	16.08±8.61 ^{B,ns}	6.84±0.20 ^{AB,ns}
12	4.52±1.34 ^{AB,ns}	10.91±3.72 ^{NS,ns}	5.93±1.58 ^{AB,ns}	9.46±4.39 ^{BC,ns}
16	11.03±8.74 ^{BC,ns}	8.12±7.16 ^{NS,ns}	8.98±2.38 ^{AB,ns}	17.08±1.57 ^{C,ns}
20	15.14±0.10 ^{C,ns}	10.56±10.54 ^{NS,ns}	12.52±0.40 ^{B,ns}	14.77±3.80 ^{BC,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย
 - ของ ΔE ตามระยะเวลาที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่าง
 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - NS เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามระยะเวลาที่เก็บ
 รักษาในสถานะเดียวกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
 ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามสถานะที่เก็บ
 รักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
 ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค ผลการวัดค่าสีที่แตกต่างทั้งหมดของแบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วยบรรจุ
ภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	ΔE			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	1.92±0.02 ^{AB,ns}	3.90±1.13 ^{A,ns}	13.82±17.01 ^{A,ns}	6.07±4.67 ^{AB,ns}
8	7.90±0.20 ^{BC,ab}	5.24±0.54 ^{A,a}	5.37±0.98 ^{A,a}	12.11±4.99 ^{B,b}
12	13.94±0.12 ^{CD,a}	29.62±6.07 ^{B,b}	9.93±4.19 ^{A,a}	25.74±0.05 ^{C,b}
16	19.13±7.91 ^{D,a}	29.35±8.26 ^{B,ab}	37.19±2.51 ^{B,bc}	44.85±6.14 ^{D,c}
20	33.75±3.42 ^{E,a}	26.69±5.87 ^{B,a}	36.70±15.74 ^{B,ab}	55.91±8.57 ^{E,b}

- หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- NS เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ΔE ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดค่า Hue angle ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโกคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	H°			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	179.91±0.00 ^{AB,ns}	179.91±0.00 ^{AB,ns}	179.91±0.00 ^{AB,ns}	179.91±0.00 ^{AB,ns}
4	179.93±0.01 ^{AB,ns}	180.02±0.09 ^{BC,ns}	179.91±0.00 ^{AB,ns}	179.76±.23 ^{A,ns}
8	179.89±0.01 ^{A,ns}	179.92±0.03 ^{AB,ns}	179.91±0.03 ^{AB,ns}	179.89±0.04 ^{AB,ns}
12	179.92±0.05 ^{AB,b}	179.85±0.02 ^{A,a}	179.89±0.01 ^{A,ab}	179.88±0.02 ^{AB,ab}
16	179.97±0.07 ^{B,ab}	179.94±0.04 ^{ABC,a}	179.93±0.01 ^{B,a}	180.04±0.02 ^{B,b}
20	180.13±0.00 ^{C,a}	180.05±0.10 ^{C,a}	180.03±0.02 ^{C,a}	180.34±0.13 ^{C,b}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ H° ตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ H° ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ H° ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๑ ผลการวัดค่า Hue angle ของแบตเตอรี่ไฮดรอกไซด์แต่งพร้อมบริ โภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์
ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	H°			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	179.80±0.00 ^{A,ns}	179.80±0.00 ^{A,ns}	179.80±0.00 ^{A,ns}	179.80±0.00 ^{A,ns}
4	179.83±0.04 ^{AB,a}	179.85±0.01 ^{A,ab}	179.92±0.07 ^{B,ab}	179.92±0.03 ^{ABC,b}
8	179.87±0.03 ^{B,ns}	179.87±0.00 ^{AB,ns}	179.91±0.02 ^{B,ns}	180.11±0.25 ^{C,ns}
12	179.86±0.00 ^{AB,ab}	179.90±0.03 ^{AB,b}	179.83±0.04 ^{A,a}	179.87±0.00 ^{AB,ab}
16	179.86±0.01 ^{B,ns}	179.83±0.16 ^{A,ns}	179.95±0.04 ^{B,ns}	179.96±0.01 ^{ABC,ns}
20	179.98±0.06 ^{C,ns}	180.00±0.03 ^{B,ns}	179.99±0.04 ^{B,ns}	180.08±0.08 ^{BC,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ H° ตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ H° ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ H° ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	PPO activity (Unit/g FW)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	10.91±2.25 ^{D,ns}	10.91±2.25 ^{BC,ns}	10.91±2.25 ^{C,ns}	10.91±2.25 ^{B,ns}
4	14.56±1.55 ^{E,ns}	11.87±1.25 ^{C,ns}	15.49±2.56 ^{C,ns}	12.75±1.15 ^{B,ns}
8	7.99±0.82 ^{C,ab}	8.71±1.83 ^{B,ab}	11.05±2.20 ^{D,b}	6.84±0.77 ^{A,a}
12	5.08±0.06 ^{B,ns}	5.31±0.69 ^{A,ns}	5.64±1.00 ^{AB,ns}	4.46±1.65 ^{A,ns}
16	2.63±0.42 ^{A,ns}	4.70±0.77 ^{A,ns}	3.07±0.40 ^{A,ns}	3.58±1.73 ^{A,ns}
20	5.10±0.08 ^{B,ns}	5.44±0.73 ^{A,ns}	8.14±3.14 ^{BC,ns}	6.35±1.79 ^{A,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๗ ผลการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภครรรูด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	PPO activity (Unit/g FW)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	5.57±0.18 ^{AB,ns}	5.33±0.53 ^{B,ns}	5.57±0.18 ^{BC,ns}	5.57±0.18 ^{B,ns}
4	6.58±0.93 ^{B,b}	4.28±0.56 ^{A,a}	6.40±0.81 ^{C,b}	6.32±0.71 ^{B,b}
8	5.81±0.18 ^{AB,ns}	7.56±0.67 ^{C,ns}	5.47±1.62 ^{BC,ns}	4.96±2.50 ^{B,ns}
12	5.82±0.41 ^{AB,b}	3.72±0.49 ^{A,a}	5.47±1.37 ^{BC,b}	4.30±0.03 ^{B,ab}
16	6.52±0.06 ^{B,b}	6.12±0.01 ^{B,b}	3.33±0.07 ^{A,a}	4.26±1.29 ^{B,a}
20	4.49±1.26 ^{A,b}	4.15±0.01 ^{A,b}	3.72±1.11 ^{AB,b}	1.42±0.51 ^{A,a}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข ผลการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อม
บริ โภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา
20 วัน

Time (Days)	Ethanol extractable phenolic compounds (mg Gallic acid/g FW)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	3.76±1.02 ^{NS,ns}	3.76±1.02 ^{AB,ns}	3.76±1.02 ^{AB,ns}	3.76±1.02 ^{NS,ns}
4	4.68±0.23 ^{NS,ns}	4.91±0.91 ^{B,ns}	5.28±0.33 ^{B,ns}	4.87±0.76 ^{NS,ns}
8	4.86±1.3 ^{NS,ns}	4.67±0.35 ^{AB,ns}	4.66±0.34 ^{AB,ns}	4.31±0.23 ^{NS,ns}
12	4.01±0.4 ^{NS,ns}	3.78±0.29 ^{AB,ns}	3.64±0.93 ^{A,ns}	4.93±0.09 ^{NS,ns}
16	4.53±0.06 ^{NS,ns}	4.65±0.23 ^{AB,ns}	4.52±0.20 ^{AB,ns}	3.66±0.99 ^{NS,ns}
20	4.44±0.87 ^{NS,ns}	3.54±0.45 ^{A,ns}	5.03±1.08 ^{AB,ns}	3.93±0.03 ^{NS,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะ
เดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา
เท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- NS เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ปริมาณสารประกอบฟีนอล
ที่สกัดด้วยเอทานอลตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยไม่มีความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่
สกัดด้วยเอทานอล ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๗ ผลการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลในแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อม
บริโภครวญด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา
20 วัน

Time (Days)	Ethanol extractable phenolic compounds (mg Gallic acid/g FW)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	4.57±0.39 ^{NS,ns}	4.57±0.39 ^{NS,ns}	4.57±0.3 ^{NS,ns}	4.57±0.39 ^{A,ns}
4	5.25±0.53 ^{NS,ns}	4.37±1.02 ^{NS,ns}	6.01±1.60 ^{NS,ns}	6.03±0.59 ^{B,ns}
8	4.64±0.82 ^{NS,ns}	4.72±1.54 ^{NS,ns}	4.74±2.06 ^{NS,ns}	4.20±0.89 ^{A,ns}
12	4.94±0.31 ^{NS,ab}	4.17±0.10 ^{NS,b}	5.35±0.35 ^{NS,a}	4.25±0.56 ^{A,a}
16	4.81±0.20 ^{NS,ab}	5.56±0.91 ^{NS,b}	3.86±0.07 ^{NS,a}	3.97±0.56 ^{A,a}
20	5.06±1.29 ^{NS,ns}	4.93±0.44 ^{NS,ns}	3.89±0.09 ^{NS,ns}	4.25±1.04 ^{A,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอลตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะ
เดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดด้วยเอทานอล ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา
เท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- NS เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ปริมาณสารประกอบฟีนอล
ที่สกัดด้วยเอทานอลตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยไม่มีความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่
สกัดด้วยเอทานอล ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๑ ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของกรีน ไค้ตัดแต่งพร้อมบริโภครวดด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Weight loss (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	1.43±0.35 ^{AB,b}	1.17±0.35 ^{B,b}	0.45±0.39 ^{B,a}	0.40±0.07 ^{AB,a}
8	1.44±0.52 ^{AB,a}	1.22±0.11 ^{B,ab}	0.74±0.07 ^{AB,b}	0.66±0.20 ^{BC,b}
12	1.88±1.21 ^{B,ns}	1.48±0.17 ^{B,ns}	0.55±0.11 ^{B,ns}	0.79±0.45 ^{BC,ns}
16	1.98±1.60 ^{B,ns}	1.57±0.70 ^{B,ns}	0.76±0.23 ^{AB,ns}	1.05±0.01 ^{CD,ns}
20	2.35±0.27 ^{B,c}	1.70±0.34 ^{B,b}	0.97±0.01 ^{B,a}	1.36±0.08 ^{D,ab}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๗ ผลการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของแบตเตอรี่เสดัดแต่งพร้อมบริโภคนบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Weight loss (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	0.78±0.02 ^{BC,a}	1.14±0.13 ^{B,ab}	1.34±0.09 ^{B,b}	1.16±0.45 ^{B,ab}
8	0.64±0.48 ^{B,a}	1.28±0.48 ^{BC,ab}	1.40±0.08 ^{B,b}	1.28±0.06 ^{B,ab}
12	0.91±0.16 ^{BCD,a}	1.59±0.57 ^{BC,ab}	1.88±0.26 ^{BC,b}	1.91±0.44 ^{C,b}
16	1.20±0.14 ^{CD,a}	1.84±0.09 ^{C,b}	2.03±0.12 ^{BC,b}	2.43±0.23 ^{C,c}
20	1.39±0.26 ^{D,a}	1.90±0.05 ^{C,ab}	2.33±0.82 ^{C,b}	2.42±0.08 ^{C,b}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการสูญเสียน้ำหนักตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Carbon dioxide (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	5.23±0.00 ^{E,b}	5.26±0.08 ^{D,b}	5.26±0.08 ^{C,b}	0.00±0.00 ^{A,a}
4	2.85±0.07 ^{D,c}	2.86±0.11 ^{C,c}	1.39±0.01 ^{B,b}	0.60±0.33 ^{C,a}
8	2.15±0.04 ^{C,b}	2.45±0.13 ^{B,b}	0.68±0.31 ^{A,a}	0.42±0.16 ^{BC,a}
12	1.34±0.05 ^{A,b}	2.09±0.06 ^{A,c}	0.39±0.13 ^{A,a}	0.18±0.21 ^{BC,a}
16	2.05±0.03 ^{C,b}	1.86±0.13 ^{A,b}	0.44±0.30 ^{A,a}	0.50±0.12 ^{BC,a}
20	1.84±0.14 ^{B,b}	1.90±0.22 ^{A,b}	0.35±0.01 ^{A,a}	0.49±0.17 ^{BC,a}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๑ ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของกรีน โอ๊คตัดแต่งพร้อม
บริโภคร่วมด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็น
ระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Oxygen (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	1.12±0.00 ^{A,a}	5.24±0.23 ^{A,b}	10.86±0.51 ^{A,c}	22.32±0.04 ^{E,d}
4	5.38±0.58 ^{B,a}	8.29±0.21 ^{B,b}	11.83±0.12 ^{A,c}	19.61±0.44 ^{CD,d}
8	7.55±0.24 ^{C,a}	10.59±0.80 ^{C,b}	13.47±0.12 ^{B,c}	20.10±0.72 ^{D,d}
12	11.47±0.32 ^{D,a}	11.29±0.14 ^{C,a}	14.29±0.17 ^{B,b}	18.83±0.46 ^{BC,c}
16	12.05±0.26 ^{D,a}	14.52±1.15 ^{D,b}	14.54±0.87 ^{B,b}	18.05±0.40 ^{AB,c}
20	12.38±0.71 ^{E,a}	15.58±1.62 ^{D,ab}	15.94±0.91 ^{C,ab}	17.50±0.63 ^{A,b}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ตามระยะที่เก็บรักษาใน
สภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็น
ระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๗ ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) ของกรีนโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภครองด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Carbon dioxide generation rate (% by volume)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	0.18±0.07 ^{B,a}	0.16±0.11 ^{A,a}	0.38±0.01 ^{B,a}	4.01±0.33 ^{D,b}
8	1.86±0.04 ^{C,a}	2.15±0.13 ^{B,ab}	1.85±0.31 ^{C,a}	2.37±0.16 ^{B,b}
12	1.75±0.05 ^{C,a}	2.21±0.06 ^{B,b}	2.28±0.13 ^{D,b}	2.33±0.21 ^{B,b}
16	3.27±0.03 ^{D,c}	2.33±0.13 ^{B,a}	2.61±0.30 ^{D,ab}	2.87±0.12 ^{C,b}
20	2.34±0.14 ^{E,ns}	2.60±0.22 ^{C,ns}	2.47±0.01 ^{D,ns}	2.55±0.17 ^{BC,ns}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๗ ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของกรีนโอ้ดัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำ
บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Oxygen consumption rate (% by volume)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{C,ns}	0.00±0.00 ^{B,ns}	0.00±0.00 ^{C,ns}	0.00±0.00 ^{D,ns}
4	1.33±0.58 ^{D,d}	-0.47±0.21 ^{B,c}	-2.55±0.12 ^{AB,b}	-5.14±0.44 ^{A,a}
8	-1.10±0.24 ^{B,ns}	-1.23±0.80 ^{AB}	-1.88±0.12 ^{B,ns}	-1.95±0.72 ^{C,ns}
12	-0.36±0.32 ^{BC,c}	-2.81±0.14 ^{A,b}	-2.69±0.17 ^{AB,b}	-3.71±0.46 ^{B,a}
16	-3.31±0.26 ^{A,a}	-0.29±1.15 ^{B,b}	-3.28±0.87 ^{A,a}	-3.22±0.40 ^{B,a}
20	0.25±0.71 ^{C,b}	-2.46±1.62 ^{A,a}	-2.12±0.91 ^{B,a}	-2.99±0.63 ^{B,a}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
อัตราการใช้ออกซิเจนตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
อัตราการใช้ออกซิเจนตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่เสด
ตัดแต่งพร้อมบริโภครบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Carbon dioxide (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	5.45±0.19 ^{D,bc}	5.25±0.06 ^{D,b}	5.26±0.08 ^{C,c}	0.00±0.00 ^{A,a}
4	3.23±0.25 ^{C,c}	3.21±0.10 ^{C,c}	1.39±0.01 ^{B,b}	0.88±0.21 ^{D,a}
8	2.22±0.03 ^{B,b}	2.44±0.05 ^{B,b}	0.68±0.31 ^{A,a}	0.67±0.01 ^{C,a}
12	1.88±0.08 ^{A,b}	1.90±0.08 ^{A,b}	0.39±0.13 ^{A,a}	0.61±0.07 ^{C,a}
16	1.85±0.01 ^{A,c}	1.91±0.00 ^{A,d}	0.44±0.30 ^{A,a}	0.36±0.05 ^{B,b}
20	2.29±0.02 ^{B,a}	1.93±0.05 ^{A,c}	0.35±0.01 ^{A,a}	0.49±0.11 ^{BC,b}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ตามระยะที่เก็บรักษาใน
สภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ตามสภาวะที่เก็บรักษา
เป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค ผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ชนิดตัดแต่งพร้อมบริโภครบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Oxygen (%)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	1.12±0.03 ^{A,a}	5.10±0.00 ^{A,b}	10.34±0.04 ^{A,c}	21.73±0.37 ^{C,d}
4	5.38±0.74 ^{B,a}	7.76±0.12 ^{B,b}	11.42±0.14 ^{B,c}	18.49±0.66 ^{B,d}
8	7.55±0.01 ^{C,a}	9.17±0.42 ^{C,b}	11.98±0.82 ^{B,c}	17.50±0.17 ^{B,d}
12	11.47±1.21 ^{D,a}	12.33±0.30 ^{D,ab}	13.45±0.17 ^{C,b}	17.55±0.97 ^{B,c}
16	12.05±0.22 ^{D,a}	13.18±0.11 ^{E,b}	15.34±0.00 ^{D,c}	17.02±0.43 ^{AB,d}
20	12.38±0.31 ^{D,a}	15.50±0.06 ^{F,b}	15.41±0.36 ^{D,b}	15.68±1.62 ^{A,b}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์) ของแบตเตอรี่สดตัดแต่งพร้อมบริโภครบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Carbon dioxide generation rate (% by volume)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}	0.00±0.00 ^{A,ns}
4	0.34±0.25 ^{B,a}	0.53±0.10 ^{B,a}	0.25±0.01 ^{A,a}	4.28±0.21 ^{D,b}
8	1.55±0.03 ^{C,a}	1.79±0.05 ^{C,ab}	1.42±0.54 ^{B,a}	2.35±0.01 ^{B,b}
12	2.21±0.08 ^{D,a}	2.02±0.08 ^{D,a}	3.01±0.67 ^{C,b}	2.50±0.07 ^{BC,ab}
16	2.54±0.01 ^{E,c}	2.56±0.00 ^{E,c}	1.87±0.00 ^{B,a}	2.30±0.05 ^{B,b}
20	3.00±0.02 ^{F,b}	2.58±0.05 ^{E,a}	2.68±0.08 ^{C,a}	2.69±0.11 ^{C,a}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามระยะที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ns เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ตามสถานะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๓ ผลการวัดอัตราการหายใจ (อัตราการใช้ออกซิเจน) ของแบตเตอรี่ไฮดรอกไซด์ที่ติดตั้งพร้อมบริโภคน้ำ
บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 20 วัน

Time (Days)	Oxygen consumption rate (% by volume)			
	1:5	5:5	10:5	21:0
0	0.00±0.00 ^{C,ns}	0.00±0.00 ^{D,ns}	0.00±0.00 ^{E,ns}	0.00±0.00 ^{C,ns}
4	0.87±0.74 ^{C,d}	-0.86±0.12 ^{C,c}	-2.44±0.14 ^{BC,b}	-5.68±0.66 ^{A,a}
8	-1.28±0.01 ^{B,c}	-2.11±0.42 ^{B,bc}	-2.96±0.82 ^{AB,ab}	-3.44±0.17 ^{B,a}
12	0.52±1.21 ^{C,c}	-0.36±0.30 ^{D,bc}	-2.05±0.17 ^{CD,ab}	-2.39±0.97 ^{B,a}
16	-2.92±0.22 ^{A,a}	-2.67±0.11 ^{A,a}	-1.63±0.00 ^{D,b}	-2.97±0.43 ^{B,a}
20	-3.18±0.31 ^{A,a}	-1.20±0.06 ^{C,b}	-3.45±0.36 ^{A,a}	-3.78±1.62 ^{B,a}

หมายเหตุ - อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
อัตราการใช้ออกซิเจนตามระยะที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- อักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ
อัตราการใช้ออกซิเจนตามสภาวะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยมีความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิริลักษณ์ แสงพล เกิดเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2526 ณ โรงพยาบาลโสธร จังหวัดโสธร ศึกษาในระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านทรายมูล (ทรายมูลประชารามณ์) จากนั้นศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนยโสธรพิทยาคม และจบการศึกษาในปีการศึกษา 2544 ในปีการศึกษา 2545 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2550

